

SISTEMAS DE REABILITAÇÃO DE CONDUTAS SEM ABERTURA DE VALA

DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÓMICO

MARIA RAQUEL DA SILVA GONÇALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel Oliveira Piqueiro

JUNHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

*Quando é obvio que as metas poderão ser alcançadas, não ajuste as metas, mas o ritmo de
ação.*

Confúcio, pensador e filósofo chinês

AGRADECIMENTOS

Finalizada esta grande etapa na minha vida, quero agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o meu sucesso académico.

Ao professor e orientador Francisco Piqueiro, um especial obrigada por todo o apoio e disponibilidade para diálogo na superação de dificuldades, pelos contactos feitos com as entidades externas e pelos ensinamentos partilhados.

À EcoReferência, S.A., obrigada pela simpatia, disponibilidade e partilha de documentos. Agradeço também à Águas de Gondomar pela oportunidade de desenvolver este projecto.

Não posso deixar de agradecer ao excelente grupo de amigos que levo da faculdade: os Lellos. Dolores, Susana, Sara, Carolina, Filipa, Emanuel, Ricardo, Filipe e André, a todos um grande obrigada por todos os momentos partilhados, desde o estudo mais intenso ao simples e puro companheirismo. Tornei-me rica na FEUP pelo saber e pelas amizades que levo.

Ao meu namorado David, que partilhou comigo parte deste percurso académico e acompanhou parte dos meus sucessos, obrigada por todo o carinho, companheirismo, incentivo e dedicação, a todas as distâncias.

À Tuna Feminina do Orfeão Universitário do Porto, obrigada por me fazerem crescer, por me desafiarem e me lançarem para grandes palcos. Usarei a vossa motivação como mote para os palcos da engenharia.

Obrigada à Sara, que depois de tantos anos de forte amizade ficou por mais uns quantos para me ajudar a lutar por este título. À Joana, obrigada por toda a amizade e apoio.

Obrigada à minha família, pela união e bons valores. Em especial à minha irmã, pelo apoio incondicional.

Por último, já que os últimos são os primeiros, quero agradecer sem igual aos meus pais. Obrigada por depositarem em mim a vossa confiança incondicional, e por acompanharem atentamente todas as minhas vitórias ao longo da vida académica. Esta foi a maior de todas, e só tenho a agradecer por me terem permitido vivê-la com tanta liberdade, saber e amizade.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a análise técnica e económica de uma reabilitação de tubagens, por um método sem abertura de vala.

A reabilitação sem abertura de vala é uma técnica implementada pelos ingleses, há cerca de 30 anos, que consiste na intervenção sem destruição do pavimento. Este modelo tem sido aperfeiçoado ao longo dos anos, e conta hoje com muitos quilómetros de intervenção em várias partes do mundo, aplicado a diversos materiais e a sistemas tanto de drenagem como de abastecimento. As tecnologias de reabilitação de tubagens sem recurso à abertura de vala aproveitam o espaço criado pela tubagem existente, reabilitando o sistema por aplicação de um novo revestimento interior ou pela destruição da tubagem existente e instalação de uma nova no espaço desta. Este processo necessita apenas de dois locais de acesso nas extremidades do troço a intervir, para que se possa executar os trabalhos.

Importa referir que o mercado nesta área está numa fase de expansão, dos quais o mercado português, pelo que o tema em questão se manifesta inovador e interessante.

Neste contexto, apresenta-se o caso de estudo da reabilitação de duas condutas elevatórias do Sistema de Santiago, a rede de drenagem das águas residuais de Melres, em Gondomar. Pretende-se reforçar e explorar o conhecimento existente sobre estas técnicas e entender de que forma é que a reabilitação é importante e eficaz nas competências técnicas e económicas de uma conduta.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem, Reabilitação sem abertura de vala, Condutas elevatórias, Sistema de Santiago, Análise económica

ABSTRACT

This study aims to the technical and economic analysis of a rehabilitation of pipes for a no dig pipe repair system.

The rehabilitation trenchless opening is a technique implemented by the British for nearly 30 years, which is the intervention without destroying the pavement. This model has been refined over the years, and now has many kilometers of intervention in various parts of the world, applied to various materials and systems both drainage and supply. The pipe rehabilitation technology without recourse to ditch opening take advantage of the space created by the existing piping, rehabilitating the system by applying a new inner lining or destroying the existing pipe and installing a new one in the free space. This process requires only two access sites at the ends of the intervening portion, so that become possible to execute the operations.

It's interesting to highline the fact that the market in this area is in an expansion phase, of which the Portuguese market, whereby the theme of this thesis is manifested innovative and interesting.

In this context, it's study a real case of the rehabilitation of two pumping pipelines in the Sistema de Santiago, a drainage network of Melres, in Gondomar. It is intended to reinforce and exploit the existing knowledge about these techniques and understand how important and effective is rehabilitation to accomplish the technical and economic success of the drainage system.

KEYWORDS: Drainage, No dig rehabilitation, Pumping lines, System of Santiago, Economic analysis

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. ÂMBITO, OBJETIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DO TRABALHO	3
 2. ESTADO DE ARTE: INFRAESTRUTURAS ENTERRADAS	 5
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
2.2. SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS	5
2.2.1. ASPECTOS GERAIS	5
2.2.2. TIPOS DE REDES	6
2.2.3. COMPONENTES DAS REDES DE DRENAGEM	9
2.2.4. TUBAGENS E ACESSÓRIOS	11
2.2.4.1. Fibrocimento (FC)	12
2.2.4.2. Tubos de Aço	14
2.2.4.3. Tubos de Ferro Fundido (FFD)	14
2.2.4.4. Tubos de Policloreto de Vinilo (PVC)	14
2.2.4.5. Tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	16
2.2.4.6. Tubos de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)	17
2.2.4.7. Tubos de Betão Armado e Pré-Esforçado	18
2.2.4.8. Síntese	18
2.3. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS	20
2.3.1. ASPETOS GERAIS	20
2.3.2. COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	21
2.3.3. TUBAGENS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA	22
2.4. BASES DO CÁLCULO HIDRÁULICO-SANITÁRIO	22
2.4.1. DIMENSIONAMENTO DE COLECTORES GRAVÍTICOS DE DRENAGEM	22

2.4.2. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICO-SANITÁRIA DE COLETORES GRAVÍTICOS	22
2.4.3. DIMENSIONAMENTO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS	24
2.4.4. CAUDAIS DE PROJETO	26
2.5. REABILITAÇÃO EM INFRA-ESTRUTURAS ENTERRADAS	27
2.5.1. ASPETOS GERAIS	27
2.5.2. A DECISÃO DE INTERVENÇÃO	28
2.5.3. REABILITAÇÃO TRADICIONAL.....	28
2.5.3.1. Aspectos Gerais.....	28
2.5.3.2. Procedimento.....	29
2.5.4. REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA	31
2.5.4.1. Aspectos Gerais.....	31
2.5.4.2. Procedimento.....	31
2.5.4.3. Vantagens.....	32

3. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA.....	35
3.1. ASPETOS GERAIS	35
3.2. SELECÇÃO DO MÉTODO.....	37
3.3. TRABALHOS PREPARATÓRIOS	38
3.3.1. LOCALIZAÇÃO DAS TUBAGENS	38
3.3.2. LIMPEZA E ACONDICIONAMENTO DAS INFRA-ESTRUTURAS.....	39
3.3.3. INSPEÇÃO VÍDEO	40
3.4. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS	40
3.4.1. REPARAÇÃO PARCIAL DE TUBAGENS.....	41
3.4.1.1. Manta de fibras de vidro.....	41
3.4.1.2. Aplicação de resina epóxi	42
3.4.2. REPARAÇÃO TOTAL DAS TUBAGENS.....	43
3.4.2.1. Revestimento com argamassa de cimento.....	43
3.4.2.2. Revestimento com resina epóxi	44
3.4.2.3. Cura térmica - Manga de inversão	44
3.4.3. INTRODUÇÃO DE UMA NOVA CONDUTA	46

3.4.3.1. Entubamento (Sliplining)	47
3.4.3.2. Ajuste Perfeito (Close-fit lining)	48
3.5. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DESTRUTIVAS	50
3.5.1. REMOÇÃO DA CONDUTA EXISTENTE.....	50
3.5.2. DESTRUIÇÃO DA CONDUTA EXISTENTE.....	50
3.5.2.1. Rebentamento de tubagens	50
3.5.2.2. Fraccionamento das tubagens	53
3.5.2.3. Destruição das tubagens	53
3.5.2.4. Fresagem das tubagens	53
3.6. TÉCNICAS DISPONÍVEIS NA ECOREFERÊNCIA, S.A.	53
3.6.1. INSPECÇÃO VÍDEO.....	54
3.6.2. LIMPEZA	54
3.6.2.1. Desinfecção Bacteriológica de Condutas.....	54
3.6.2.2. Limpeza e desinfecção de reservatório.....	55
3.6.2.3. Fresagem de juntas com robot.....	55
3.6.3. ENSAIOS	55
3.6.3.1. Ensaio de Pressão de Água	55
3.6.3.2. Ensaio de Ar, a juntas	56
3.6.3.3. Ensaio de Ar, a caixas de visita.....	56
3.6.3.4. Ensaio de estanquidade em redes gravíticas	57
3.6.4. REABILITAÇÃO	59
3.6.4.1. Sistema de reabilitação de forquilhas (SRF)	59
3.6.4.2. Reabilitação pelo sistema de fecho rápido (quick-lock)	59
3.6.4.3. Inserção de uma nova conduta	60
 4. ESTUDO DE CASO – SISTEMA DE SANTIAGO	 61
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	61
4.2. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE SANTIAGO	61
4.3. PROJECTO INICIAL (2004).....	64
4.3.1. DRENAGEM GRAVÍTICA	64
4.3.1.1. Bacia 2.....	64
4.3.1.2. Bacia 10.....	66
4.3.1.3. Aprimoramento dos dados recebidos	67

4.3.2. GRUPOS ELECTROBOMBA	70
4.3.2.1. Bomba 2 (B2), a instalar na Estação Elevatória 2 (EE2)	71
4.3.2.2. Bomba 10 (B10), a instalar na Estação Elevatória 10 (EE10).....	71
4.3.3. POÇOS DE BOMBAGEM, PB.....	72
4.3.3.1. Poço de bombagem 2 (PB2), a instalar na EE2	72
4.3.3.2. Poço de bombagem 10 (PB10), a instalar na EE10	73
4.3.4. ESTRUTURAS EM ESTUDO.....	74
4.3.4.1. Conduta Elevatória 2 (CE2).....	74
4.3.4.2. Conduta Elevatória 10 (CE10).....	74
4.4. CONCURSO RELATIVO A “REMODELAÇÃO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS”	75
4.4.1. MOTIVAÇÃO DO CONCURSO	75
4.4.2. NOVAS SOLICITAÇÕES.....	75
4.4.3. PROCEDIMENTO DE REABILITAÇÃO SUGERIDO PELA ENTIDADE CONCESSIONÁRIA	79
4.4.3.1. Conduta Elevatória 2 (CE2).....	79
4.4.3.2. Conduta Elevatória 10 (CE10).....	79
4.4.4. PROJETO DE REABILITAÇÃO CONSIDERADO NO DESENVOLVIMENTO DESTA DISSERTAÇÃO.....	80
4.4.5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA ECOREFERÊNCIA, S.A.	81
4.4.5.1. Soldadura topo a topo	83
4.4.5.2. Eletrosoldadura	84
4.5. REVISÃO DO PROJETO (2016)	85
4.5.1. DRENAGEM GRAVÍTICA	85
4.5.2. GRUPOS ELECTROBOMBA	86
4.5.3. CONDUTAS ELEVATÓRIAS CE2 E CE10	87
5. ANÁLISE DE RESULTADOS	89
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	89
5.2. FUNCIONAMENTO PRETENDIDO NO PROJETO DE 2004.....	89
5.2.1. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS DE BOMBAGEM.....	89
5.2.2. ANÁLISE DE CUSTOS ENERGÉTICOS.....	94
5.3. FUNCIONAMENTO PRETENDIDO COM A REVISÃO DE PROJETO	97
5.3.1. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS DE BOMBAGEM.....	97
5.3.2. ANÁLISE DE CUSTOS ENERGÉTICOS.....	99

5.4. AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INTERVENÇÃO.	100
5.4.1. SOLUÇÃO SEM REABILITAÇÃO	101
5.4.2. SOLUÇÃO REABILITADA	101
5.4.3. COMPARAÇÃO DAS DUAS SOLUÇÕES	101
5.5. REABILITAÇÃO “RELINING” VS REABILITAÇÃO TRADICIONAL	103
5.5.1. REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA	103
5.5.2. REABILITAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL	103
5.5.3. COMPARAÇÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
 6. Conclusões	 107
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	107
6.2. DIFICULDADES SENTIDAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	108
6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	108
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 109
OUTRA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	111
 ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ilustração representativa da diferença entre um sistema unitário (à esquerda) e um sistema separativo (à direita)	7
Figura 2.2 – Esquema de um sistema de abastecimento de águas urbano (Adaptado de [17]).....	21
Figura 2.3 – Esquema elucidativo dos parâmetros usados no cálculo hidráulico dos colectores com secção circular e escoamento de águas residuais pelo sistema separativo	23
Figura 2.4 – Gráfico de verificação do cumprimento das condições de altura de escoamento, condições de autolimpeza e de velocidade máxima [7].....	24
Figura 2.5 – Custos da aplicação dos diâmetros a condutas elevatórias iniciais (a) e ao longo da vida útil (b).....	25
Figura 2.6 – Determinação do ponto óptimo de instalação dum certo diâmetro numa conduta elevatória	26
Figura 2.7 – Reabilitação de condutas pelo método tradicional, ou com vala aberta [23]	29
Figura 2.8 - Procedimento da reabilitação tradicional esquematizado por 8 passos	30
Figura 2.9 – Resultado da aplicação de uma técnica de reabilitação não destrutiva [49].....	31
Figura 2.10 – Resultado da aplicação de uma técnica de reabilitação destrutiva [50].....	32
Figura 2.11 – Método de reabilitação com abertura de vala (ou tradicional).....	33
Figura 2.12 – Método de reabilitação sem abertura de vala (método recente)	33
Figura 3.1 – Grupo de engenheiros a inspeccionar o local de trabalhos	39
Figura 3.2 – Mangueira de alta pressão para limpeza das tubagens de água	39
Figura 3.3 - Robots de captação de vídeo utilizados no processo CCTV [25]	40
Figura 3.4 – Procedimento de aplicação do equipamento pneumático envolto numa manta de fibra de vidro	42
Figura 3.5 - (esquerda) técnicos responsáveis pela impregnação do balão embebido em resina, na conduta; (direita) balões de reparação com diversos diâmetros, a aplicar em condutas igualmente variáveis. [26]	42
Figura 3.6 - Máquina para aplicar o revestimento de argamassa de cimento nas paredes internas da conduta, manuseada por um técnico. [27]	43
Figura 3.7 - Manga de poliéster com um grande diâmetro, usada na técnica de manga de inversão [30].....	45
Figura 3.8 - Início da técnica de Manga de Inversão: construção do poço e aplicação do tubo guia e da manga.....	45
Figura 3.9 - Circulação de água quente no interior da manga invertida, de modo a ocorrer a cura da resina	46
Figura 3.10 - Dois modelos diferentes de tambores, ou inversores, usados na técnica de manga de inversão [30]	46

Figura 3.11 - Representação da tubagem a ser puxada por um guincho, no processo de entubamento.....	47
Figura 3.12 – Pormenor da tubagem no fim de um processo de entubamento.....	48
Figura 3.13 - Dobragem da nova conduta em forma de “U” (do lado esquerdo); conduta ajustada aquando do término do procedimento (do lado direito).....	49
Figura 3.14 - 1ª fase da técnica de rebentamento da tubagem: implementação de varas ou de um cabo de aço no interior da conduta existente [33].....	51
Figura 3.15 - 2ª fase da técnica de rebentamento da tubagem: inserção dos equipamentos na tubagem antiga e destruição da mesma [33]	52
Figura 3.16 – Robot camara de vídeo IBAK MODULAR 1 [22].....	54
Figura 3.17 - Tampão pneumático em borracha para as caixas de visita e ramal, usado no ensaio de estanquidade	57
Figura 3.18 - Braço telescópico usado no auxílio ao tamponamento das tubagens, nos ensaios de estanquidade	57
Figura 3.19 - Ensaio de estanquidade em redes gravíticas, pelo método de ensaio a água	58
Figura 3.20 - Fecho rápido no interior de uma tubagem, a aplicar na técnica de “quick-lock”	59
Figura 3.21 - Manuseamento do fecho rápido por um técnico, no interior da conduta.....	60
Figura 4.1 - Localização das Condutas Elevatórias 2 e 10, e futura localização das Estações Elevatórias 2 e 10 e da ETAR se Santiago [37]	62
Figura 4.2 - Localização da conduta elevatória 2, estimada no Google Earth.....	63
Figura 4.3 - Localização da conduta elevatória 10, estimada no Google Earth.....	63
Figura 4.4 – Diagrama da hierarquia de influência de cada parâmetro no caudal das condutas elevatórias	64
Figura 4.5 - Esquema do percurso hidráulico que chegará à EE2	65
Figura 4.6 – Esquema do percurso hidráulico que chega à EE10.....	66
Figura 4.7 – Gráfico baseado nos resultados do Quadro 4.3: evolução da população prevista pelo projeto inicial.....	68
Figura 4.8 – Gráfico baseado nos resultados do Quadro 4.4: evolução da capitação prevista pelo projeto inicial.....	70
Figura 4.9 - Esquema da conduta elevatória 2, instalada no projecto original de 2004	74
Figura 4.10 - Esquema da conduta elevatória 10, instalada no projecto original de 2004	75
Figura 4.11 - Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das populações, para a Bacia 2.....	77
Figura 4.12 - Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das populações, para a Bacia 10.....	78

Figura 4.13 – Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das capitações, iguais para a bacia 2 e para a bacia 10	78
Figura 4.14 – Mapas com a localização das CE2 e CE10, respectivamente da esquerda e direita, onde estão identificados os 7 poços de ataque propostos pela EcoReferência, S.A.....	82
Figura 4.15 – Exemplos de abertura de poços de ataque e da sua estanquidade [43]	82
Figura 4.16 – Procedimentos da soldadura topo a topo, divididos em 6 fases (Adaptado de [45])	83
Figura 4.17 - Procedimentos da eletrosoldadura, divididos em 9 fases (Adaptado de [46])	84
Figura 4.18 – Esquema esboçado da CE2 com as novas características de 2016	87
Figura 4.19 - Esquema esboçado da CE2 com as novas características de 2016	88
Figura 5.1 – Esquema elucidativo dos dois grandes cálculos que serão elaborados	89
Figura 5.2 - CCI e CCB da bomba2 na 1ªfase, do projecto de 2004	90
Figura 5.3 - CCI e CCB da bomba2 na 2ªfase, do projecto de 2004	91
Figura 5.4 - CCI e CCB da bomba10 na 1ªfase, do projecto de 2004	92
Figura 5.5 - CCI e CCB da bomba10 na 2ªfase, do projecto de 2004	93
Figura 5.6 – Gráfico elucidativo dos efeitos que tem a alteração de diâmetro numa conduta elevatória e das características de uma bomba, sobre um sistema elevatório (onde 1 - instalação inicial; 2 - instalação final).....	97
Figura 5.7 - CCI e CCB da bomba2, na revisão de projecto de 2016	98
Figura 5.8 - CCI e CCB da bomba10, na revisão de projecto de 2016	98

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Condições e objectivos de cada tipo de sistema de drenagem de águas residuais[6]	8
Quadro 2.2 - Vantagens e Inconvenientes dos vários tipos de Sistemas de Drenagem [8].....	9
Quadro 2.3 - Componentes e funções dos diferentes órgãos de drenagem residual [10]	10
Quadro 2.4 - Componentes e funções dos diferentes órgãos de drenagem pluvial [13]I	11
Quadro 2.5 - Propriedades Físicas e Mecânicas de Fibrocimento [15]	13
Quadro 2.6 - Gama de valores de Pressão Nominal dos tubos de Fibrocimento	13
Quadro 2.7 - Diâmetros nominais de tubos de Fibrocimento	13
Quadro 2.8 - Gama de diâmetro nominais de Tubos de Aço	14
Quadro 2.9 - Gama de Diâmetro Nominais de Tubos de Ferro Fundido.....	15
Quadro 2.10 - Propriedades da matéria-prima de Tubos de Policloreto de Vinilo [15]	15
Quadro 2.11 - Diâmetros nominais dos tubos de Policloreto de Vinilo	15
Quadro 2.12 - Propriedades Físicas das diversas resinas usadas na produção de Tubos PEAD [15].....	16
Quadro 2.13 - Propriedades físicas e mecânicas dos tubos de Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro [15]	17
Quadro 2.14 - Gama de diâmetros de tubo de Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro	17
Quadro 2.15 - Resistência do betão à compressão simples	18
Quadro 2.16 - Gama de diâmetros de tubos de betão pré-esforçado	18
Quadro 2.17 - Vantagens e Inconvenientes dos diversos materiais utilizados nas tubagens de águas residuais [8]	19
Quadro 2.18 – Tabela de abertura de vala (Adaptado de [23])	29
Quadro 3.1 - Técnicas de reabilitação sem abertura de vala (Adaptado de [23])	36
Quadro 3.2 - Tabela de valores do ensaio a ar, a caixas de visita	58
Quadro 4.1 - Valores esperados para a EE2, definidos no Projecto Inicial	65
Quadro 4.2 – Valores esperados para a EE10, definidos no Projecto Inicial	66
Quadro 4.3 – Resultados obtidos na progressão geométrica de ambas as Bacias, sobre a população	67
Quadro 4.4 – Resultados obtidos na progressão geométrica, sobre a capitação	69
Quadro 4.518 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE2 (Adaptado de [37])	71
Quadro 4.6 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE10 (Adaptado de [37])	72
Quadro 4.7 - Níveis do poço de bombagem 2, fornecidos pelos documentos do projeto inicial	72
Quadro 4.8 - Tabela do cálculo do número de arranques máximo por hora, por fase, no PB2	73
Quadro 4.9 - Níveis do poço de bombagem 10, fornecidos pelos documentos do projeto inicial	73

Quadro 4.10 - Tabela do cálculo do número de arranques máximo por hora, por fase, no PB10	73
Quadro 4.11 - Novos resultados da curva de progressão geométrica da população, ajustada aos Censos de 2011.....	76
Quadro 4.12 - Valores de caudais e volumes afluentes às EE2 e EE10, ao longo da sua vida útil [40]85	
Quadro 4.13 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE2, segundo a revisão de projecto de 2016	86
Quadro 4.14 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE10, segundo a revisão de projecto de 2016	86
Quadro 5.1 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE2, com o projecto inicial	95
Quadro 5.2 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE10, com o projeto inicial	96
Quadro 5.3 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE2, com a revisão de projeto	99
Quadro 5.4 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE10, com a revisão de projeto	100
Quadro 5.5 – Comparação económica das soluções Com e Sem reabilitação	102
Quadro 5.6 – Estimativa de volumes respeitantes à eventual reabilitação das CE2 e CE10 com abertura de vala	105
Quadro 5.7 – Custos globais da reabilitação tradicional, de acordo com os custos unitários cedidos pela EcoReferência, S.A. e as quantidades de trabalho obtidas	105

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

D – Diâmetro da tubagem [m]

DN – Diâmetro Nominal [mm]

E – Módulo de Elasticidade [MN/m^2] (características do material)

E – Energia [kWh]

g – Aceleração gravítica [$=9.81 \text{ m/s}^2$]

H – Carga hidráulica [m]

i – Inclinação do coletor [mm/mm] ou [%]

Ks – Rugosidade interior da conduta [mm]

L – Extensão [m]

P – Perímetro molhado do escoamento [m] (cálculo hidráulico-sanitário)

P – Potência [kW] (análise de custos energéticos)

Q – Caudal [m^3/s]

Qb – Caudal bombado [m^3/s]

R – Raio hidráulico [m]

S – Secção de escoamento [m^2]

U – Velocidade [m/s]

V – Volume [m^3]

y – Altura da lâmina líquida do escoamento [m]

Ø – Diâmetro da tubagem [mm]

ΔH – Perda de carga [m]

Δt – Intervalo de tempo [s]

γ – Peso volúmico [N/m^3]

η – Rendimento [%]

τ – Tensão de autolimpeza [N/m^2]

ΔT_{arranq} ou ΔT_a – Tempo de enchimento do poço de bombagem até ao arranque da bomba

ΔT_{bomb} ou ΔT_b – Tempo de bombagem

C_{afi} – Coeficiente de afluência

Cap – Capitação

F_p – Fator de ponta

Pop – População

Q_{ind} – Caudal industrial

Q_{inf} – Caudal infiltrado

Q_{mda} – Caudal médio diário anual

Q_{pi} – Caudal de ponta inicial

Q_{ph} – Caudal de ponta horizonte

T_a – Taxa de amortização

T_i – Taxa de inflação

V_{mda} – Volume médio diário anual

AdG – Águas de Gondomar, S.A.

B – Bomba

CCB – Curva Característica da Bomba

CCI – Curva Característica da Instalação

CE – Conduta Elevatória

CCTV – Closed Circuit Television

CV – Caixa de Visita

EE – Estação Elevatória

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

PB – Poço de bombagem

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC-U – Policloreto de vinilo não plastificado

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

A implementação de redes de águas no sistema urbano conta já com uma história de cerca de 5000 anos, proveniente da Civilização Mesopotâmica. Nessa época, foram criados sistemas de drenagem de águas residuais e sistemas de abastecimento, ambos muito primitivos e com pouca evolução ao longo dos séculos.

Em Portugal, porém, os primeiros registos históricos desta aplicação remontam ao século XV, os quais seriam também rudimentares. O aumento demográfico e a aglomeração de população durante a revolução industrial reforçaram a necessidade do seu desenvolvimento, começando a notar-se grandes avanços nesta área. [1] Por outro lado, também a consciência de que os recursos hídricos não são inesgotáveis veio frisar a importância em conservá-los, bem como a necessidade de preservar a saúde ambiental e humana. [2]

A drenagem de águas residuais, se eficiente, desempenha um importante papel de protecção sanitária das populações porque evita que os rios se transformem em difusores de doenças, e contribui de forma decisiva na manutenção da qualidade do ambiente e das actividades ligadas à água, como o turismo, a piscicultura, a agricultura e a indústria, que necessitam deste recurso para assegurar o seu desenvolvimento.

A função de preservar a qualidade de vida no local e no meio em que vivemos é garantida pelas seguintes fases:

- Recolha das águas residuais domésticas, industriais e pluviais através de colectores prediais e ramais de esgoto;
- Condução ou transporte até uma estação de tratamento por colectores públicos;
- Tratamento eficaz em ETAR (Estações de Tratamento de Águas Residuais);
- Posterior devolução ao meio natural, em condições sustentáveis e em conformidade com a Legislação Nacional e Comunitária.

Os surtos epidémicos vividos no século XIX tiveram no entanto outra fonte: o consumo de água. Nessa época, o controlo da qualidade da água para consumo humano era feito sobretudo de forma empírica, valorizando-se apenas a aparência como indicador. Só após as investigações epidemiológicas, inicialmente desenvolvidas por John Snow, se veio a descobrir que existia uma ligação estreita entre o consumo de água com a contaminação fecal e os diversos surtos epidémicos de cólera e febre tifoide na Europa. No início do século XX, começou o desenvolvimento dos meios técnicos e legais para a desinfeção da água em sistemas públicos de abastecimento. [3]

Os sistemas de abastecimento de água são infra-estruturas de suporte de um serviço básico para a saúde pública, que consiste no abastecimento de água com qualidade para consumo humano em quantidade e pressão às populações. São constituídos por:

- Captação e transporte das águas de nascente ou outras origens;
- Tratamento da água em ETA (Estação de Tratamento de Águas);
- Armazenamento de água potável em reservatórios;
- Rede de distribuição de água potável, de acordo com a legislação.

Em Portugal, as redes de água têm já uma história de várias décadas e o envelhecimento das conduitas, natural e inevitável, torna-se cada vez mais eminente. À medida que estes componentes atingem o final da vida útil, as rupturas e as interrupções no funcionamento dos sistemas tornam-se mais frequentes e, por consequência, os custos de manutenção dos sistemas aumentam. Assim, as entidades gestoras são confrontadas com a necessidade de reparar, reabilitar e/ou substituir os órgãos constituintes das redes.

O conceito de reabilitação tradicional em infra-estruturas enterradas tem uma complexidade inerente que actualmente não se justifica, uma vez que a sociedade tem um ritmo acelerado que pede uma intervenção rápida e simples.

Face a estes constrangimentos, é evidente a grande importância em inovar, investigar e definir estratégias de intervenção através de procedimentos menos evasivos, mais rápidos e económicos. Nesta dissertação, serão abordadas as novas técnicas de reabilitação de conduitas que se têm vindo a aplicar há já 30 anos: reabilitação sem abertura de vala.

1.2 ÂMBITO, OBJETIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO

A iniciativa para o desenvolvimento deste trabalho provém da necessidade de explorar as técnicas de reabilitação de conduitas, nomeadamente as mais recentes técnicas sem abertura de vala. Foi constatado que há poucos documentos nacionais com as técnicas sintetizadas e alguma imaturidade nos processos que já se têm vindo a aplicar nos últimos anos. Pretende-se por isso contribuir para um maior e melhor conhecimento sobre este tema, organizando e fornecendo novos dados.

Os dois grandes objectivos da presente dissertação são a consolidação das novas técnicas de reabilitação de conduitas e a comparação económica entre dois tipos de intervenções, com e sem abertura de vala. Nesse sentido, o presente documento é proposto como uma base de consulta a estudos futuros, que necessitem de verificar as vantagens técnicas e económicas da intervenção por reabilitação sem abertura de vala, em detrimento da reabilitação tradicional. Para levar a cabo o estudo, optou-se por examinar um caso prático: a reabilitação de duas conduitas elevatórias em Melres, Gondomar.

O desenvolvimento desta dissertação teve início com o contacto feito à empresa EcoReferência, S.A., com sede em Melres. Foi uma das primeiras empresas portuguesas a lançar-se neste mercado de reabilitação sem abertura de vala, tendo para isso desenvolvido os seus próprios métodos de acordo com a experiência em diversas intervenções já realizadas, dentro e fora de Portugal. O apoio desta entidade foi crucial no desenvolvimento do trabalho e foi também esta parceria que permitiu ter acesso ao caso de estudo – um concurso lançado pela Águas de Gondomar no qual a EcoReferência, S.A. foi candidata.

Espera-se alcançar no fim desta dissertação uma avaliação das vantagens e desvantagens relevantes, tanto técnicas como económicas, resultantes da aplicação das novas técnicas de reabilitação de condutas.

1.3 ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DO TRABALHO

A presente dissertação começa com um capítulo introdutório, onde são definidos os pressupostos iniciais, o âmbito de análise, a metodologia de atuação e os objetivos a alcançar. O desenvolvimento desta tese está organizado no total por 7 capítulos.

O capítulo 2 é o estado de arte, ou seja, é feita uma exposição clara da informação existente sobre o tema até aos dias de hoje. Nesse propósito, são sucintamente explicadas as características, os componentes, os materiais usados e os cálculos hidráulicos dos sistemas de redes de água, de forma a estabelecer uma base de compreensão sobre este tema. De seguida, é feito um enquadramento sobre a importância da reabilitação nas redes urbanas e os processos que se usam para o efeito – método tradicional e método sem abertura de vala.

O capítulo 3 detalha o tema “reabilitação sem abertura de vala”, dividindo-se ainda em duas perspectivas. Uma do ponto de vista genérico, onde são abordadas as técnicas mais conhecidas e postas em prática nos dias de hoje, dentro e fora do país. Outra perspectiva é tendo em conta os procedimentos da empresa EcoReferência, S.A., referindo e explicando as diversas metodologias que são aplicadas pela mesma.

No capítulo 4 é introduzido o caso de estudo. Este consiste num projecto concebido em 2004, designado Sistema de Santiago, que contempla a rede de drenagem das águas residuais da freguesia de Melres, em Gondomar. É feita uma apresentação geral do sistema, seguida da apresentação do concurso de reabilitação e por fim o objetivo final que se pretende instalar em 2016.

O capítulo 6 avalia as competências técnicas da intervenção sugerida. São realizados e analisados os devidos cálculos, determinando o funcionamento energético e económico das condutas elevatórias reabilitadas ou não. O término deste trabalho decorre com a análise económica da solução *Relining* (Revestimento) requerida, em oposição a uma reabilitação tradicional.

Por fim, no capítulo 7 são enumeradas as principais conclusões de todo o trabalho elaborado. As informações recolhidas e tratadas são aqui analisadas e é igualmente apresentado um conjunto de sugestões para desenvolvimentos futuros que a presente análise suscita.

2

ESTADO DE ARTE: INFRA-ESTRUTURAS ENTERRADAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo introdutório tem o objectivo de recolher e compilar a informação existente sobre o tema das infra-estruturas, que possam vir a ser úteis tanto no decorrer do trabalho como a futuras aplicações do método de reabilitação em estudo. Primeiramente será feito um enquadramento das redes de água de saneamento e de abastecimento, seguindo-se uma breve aclaração sobre os cálculos hidráulico-sanitários correspondentes e então, a explicação do que consiste uma reabilitação de condutas e como se processa.

Entende-se por infra-estruturas enterradas, no contexto hidráulico de redes de águas, todos os elementos estruturais da rede que estejam instalados sob a superfície, entre os quais estão as tubagens que são o principal foco deste estudo. Estes elementos são utilizados tanto nas redes de saneamento de águas residuais como nas redes de abastecimento de água, razão pela qual os procedimentos de reabilitação neles aplicados serem admissíveis em ambos os sistemas de águas. Assim, este capítulo pretende conhecer com mais pormenor em que consistem estes sistemas e que componentes e materiais poderão ser encontrados aquando de uma intervenção de reabilitação em condutas.

É importante referir que, pelo facto de o caso de estudo ser referente a uma rede de saneamento de águas, a abordagem realizada para este tipo de sistema será mais pormenorizada do que a abordagem feita aos sistemas de abastecimento de água potável.

2.2 SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS

2.2.1 ASPECTOS GERAIS

Os sistemas de drenagem de água têm como finalidade a recolha, o transporte, o tratamento e a devolução da água aos meios receptores, com qualidade suficiente à não poluição do mesmo.

Quando sujeita a várias utilizações, a água perde a sua qualidade para consumo e por isso passa a ser designada por água residual que, de acordo com a sua proveniência, poderá distinguir-se em três categorias: domésticas, industriais e pluviais.

- As **águas residuais domésticas** provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas e caracterizam-se por conterem quantidade apreciáveis de matéria orgânica, serem facilmente biodegradáveis e manterem relativa constância das suas características no tempo.

- As **águas residuais industriais** derivam da actividade industrial e caracterizam-se pela diversidade dos compostos físicos e químicos que contêm, dependentes do tipo de processamento industrial e ainda por apresentarem, em geral, uma grande variabilidade das suas características no tempo.
- As **águas residuais pluviais** resultam da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes e apresentam geralmente menor quantidade de matéria poluente. Consideram-se equiparadas a águas pluviais as águas provenientes de regas de jardim e espaços verdes, de lavagem de arruamento, passeios, pátios e parques de estacionamento, normalmente recolhidos por sarjetas e sumidouros.

As ETAR (Estações de Tratamento de Águas Residuais) funcionam por uma sequência de procedimentos, começando pelo pré-tratamento (meramente físico) e conduzindo a água pelos seguintes tratamentos primário, secundário e terciário. Consoante o tipo de poluição das águas, é decidido o tratamento a ser aplicado pela ETAR, ou seja, mais ligeiro ou mais agressivo. Uma intervenção evasiva, com todos os tratamentos, será por exemplo para eliminar químicos industriais; por outro lado, uma intervenção menos intensa, que poderá ser apenas tratamento primário em alguns casos, será aplicada sobre a água de origem pluvial ou de origem rural, como a agricultura por exemplo. [4]

Geralmente, os sistemas de drenagem e transporte são de funcionamento predominantemente gravíticos, porém, o transporte de águas residuais pode também obrigar a ser feito através de condutas elevatórias, devido a condições topográficas. Para o dimensionamento da rede de drenagem é essencial ter em atenção as características da urbanização e do terreno, a economia do processo, as condicionantes hidráulicas exigidas e a capacidade de transporte; cumprindo em cada caso a legislação do seu país. [5]

2.2.2 TIPOS DE REDES

A implementação dos sistemas de transporte de águas residuais deve ser gerida com a máxima consciência ambiental. Como foi indicado anteriormente, os recursos hidráulicos têm vários usos e consequentemente diferentes fontes de poluição, pelo que a sua drenagem deve ser feita em conformidade com cada situação. As características do terreno, a população e os sistemas já instalados devem ser também factores a ter em conta aquando de novas implementações ou reabilitações.

O volume de água a transportar está intimamente relacionado com o diâmetro das condutas gravíticas a implementar. Este deve ser suficientemente grande para justificar uma boa rede de drenagem, mas no limite há que fazer o balanço entre o volume necessário para o transporte da água e o espaço físico onde será implementada a conduta. Por outro lado, também a origem e o destino final da água residual podem contribuir para uma melhor organização da rede, fazendo a distinção da água por escalões de poluição ou por destinos finais. Reunindo estas condicionantes, entende-se a necessidade de gerir espacialmente as tubagens enterradas a nível de volume e de separação das águas. De acordo com o Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto, define-se então que existem 4 tipos de redes:

- Unitárias, constituídas por uma só rede de coletores, onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- Separativas, constituídas por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;

- Mistas, constituídas pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte dos coletores funciona como unitário e os restantes como sistema separativo;
- Separativas parciais ou pseudo-separativas, onde é admitido em condições excepcionais, a ligação de águas pluviais recolhidas em pátios interiores, aos coletores de águas residuais domésticas.

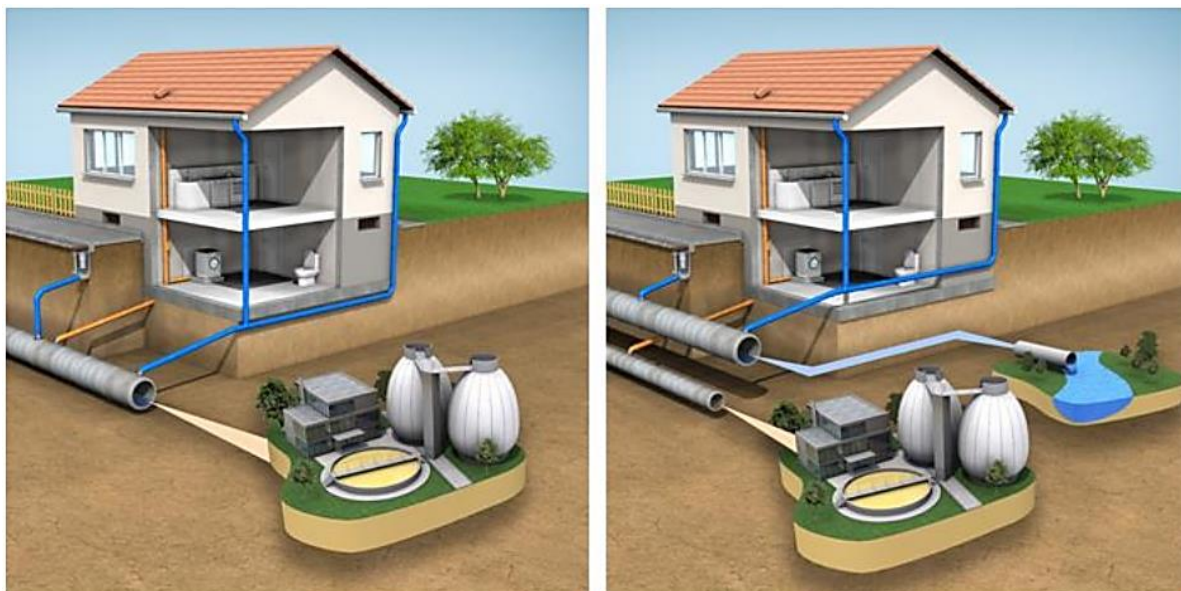


Figura 2.1 - Ilustração representativa da diferença entre um sistema unitário (à esquerda) e um sistema separativo (à direita)

Na figura anterior, está desenhado à esquerda de cada casa o canal/os canais de drenagem das águas residuais. A água de origem doméstica tem origem na cozinha e na casa-de-banho, e é transportada pelas tubagens a cor de laranja. Já as águas pluviais são provenientes do telhado e são transportadas pela tubagem a azul. Tendo estas características em atenção, verifica-se que na figura da direita, correspondente à drenagem separativa, o canal pluvial não passa pela ETAR e é lançado para o ambiente.

A cada tipo de rede descrita anteriormente estão associadas funções e condições de drenagem específicas, isto é, o sistema de escoamento difere nos objectivos principais que a rede se propõe cumprir, como indicado no Quadro 2.1.

Quadro 2.11 - Condições e objectivos de cada tipo de sistema de drenagem de águas residuais [6]

Tipos de Sistema	Condições de Escoamento	Objectivos Principais
Unitários	Com escoamento em superfície livre	Sistema de drenagem mais antigo, onde as águas domésticas, industriais e pluviais são transportadas por uma única conduta. Em Portugal é rara a construção de sistemas de drenagem do tipo unitário, e por todo o mundo se verifica actualmente um desuso deste tipo de sistema.
Separativos Domésticos	Com escoamento em superfície livre	É o tipo de coletores mais usuais para o transporte de águas residuais comerciais e industriais. Por vezes, transportam também água infiltrada e águas pluviais ou de lavagem, decorrentes de ligações erróneas.
	Sob Pressão	Estas condutas são usadas quando se torna técnica e economicamente inviável ou desfavorável o recurso a soluções gravíticas de escoamento em superfície livre.
	Sob Vácuo (pouco frequente)	O transporte é bifásico (ar e água), resultante da criação de condições de subpressão nas condutas. Por norma, é utilizado para o transporte de águas residuais domésticas, excluindo contribuições pluviais e de infiltrações, e para populações servidas de pequena dimensão.
Separativos Pluviais	Com escoamento em superfície livre	Transporte das águas com origem na precipitação, captadas de pavimentos, cobertura de edifícios e áreas de impermeabilização em meio urbano. Não é permitida a ligação de águas residuais domésticas.
Pseudo-Separativo	Com escoamento em superfície livre	Embora separe as águas pluviais das restantes na maior parte do percurso, admite a ligação de águas pluviais em pequenas quantidades, coletadas pelos coletores domésticos, às outras redes de drenagem. A sua construção é rara em novas urbanizações.

No entanto, a decisão do modelo a aplicar em cada caso é também susceptível a outros factores, relacionados com a obra em causa. Por exemplo:

- Condicionantes técnicas – população, caudal, pressão, tipo de tratamento, etc;
- Condicionantes económicas - capacidade para um investimento inicial, apoio financeiro, etc;
- Condicionantes do local – área de implantação disponível, inclinação, terreno, etc;
- Condicionantes dos recursos - exigência de material específico, mão-de-obra qualificada, etc.

A variedade de inúmeros factores que devem ser analisados durante um dimensionamento não permite fazer desta uma ciência exacta. [7] Todavia, cada tipo de rede apresenta as suas vantagens e desvantagens aquando da sua implementação, facilitando a decisão. No Quadro 2.2, estão sistematizadas alguns destes proveitos.

Quadro 2.2 - Vantagens e Inconvenientes dos vários tipos de Sistemas de Drenagem [8]

Tipo de Sistema	Vantagens	Inconvenientes
Sistemas separativos, domésticos e pluviais	Promove condições de tratamento e destino final distintas. Permite a redução de diâmetros das condutas; da dimensão das ETAR e Estações Elevatórias; e da descarga de caudais em excesso.	Tem custos elevados no primeiro investimento, associados à necessidade de dispor de dois tipos de colectores. Bastante cuidado na construção das ligações de ramais prediais.
Sistemas convencionais unitários	Economia no primeiro investimento devido à construção dum único coletor. Simplicidade do projeto em termos de ligação de ramais prediais. Em vias estreitas é mais fácil instalar uma única canalização (por exemplo, arruamentos em zonas históricas).	A descarga de excedentes sai poluída, conferindo eventuais impactos negativos no ambiente. Acréscimo de encargos de energia e de exploração em instalações elevatórias e de tratamento. Maior risco de deposição de materiais sólidos em tempo seco.
Sistemas não convencionais de coletor gravítico de pequeno diâmetro ou sob vácuo	Em zonas planas ou com níveis freáticos elevados, podem conferir um maior investimento inicial. No caso de sistemas sob vácuo, há redução do risco da ocorrência de condições de septicidade e controlo da infiltração.	Acréscimo em encargos de exploração em relação ao sistema gravítico convencional. No caso do sistema sob vácuo, é requerido um grau de conhecimento e de especialização superior para a exploração.

2.2.3 COMPONENTES DAS REDES DE DRENAGEM

A colecta e o transporte das águas residuais desde a origem até o lançamento final constituem o fundamento básico do saneamento de uma população. As condutas que pertencem a esta rede complexa são denominadas de coletores e o conjunto das mesmas compõem a rede coletora.

Os Quadros 2.3 e 2.4 têm como objetivo a aclaração dos órgãos constituintes de um sistema de drenagem separativo e dos seus elementos acessórios, distintos em drenagem pluvial e residual. Esta separação incute aos órgãos de drenagem características próprias, as quais requerem dos componentes funções diferentes. São exemplo disso os elementos de entrada da água: numa rede pluvial poderão ser sumidouros, sarjetas ou caleiras, enquanto numa rede de águas residuais a água provém de sifões sanitários ou condutas de águas de lavagem.

Quadro 2.3 - Componentes e funções dos diferentes órgãos de drenagem residual [10]

Componente	Utilização	Implementação	Finalidade
Ramais prediais	Básico	Aplicados no interior do edifício	Recolha e transporte de águas residuais domésticas para o exterior da edificação.
Ramais de ligação	Básico	Tubagem rectilínea desde o edifício até ao colector público.	Estabelecem a ligação entre as redes de esgotos dos edifícios e a rede pública, sendo eles os primeiros órgãos pertencentes à gestão pública. [11]
Coletor principal	Básico	Implantado sob o eixo das vias públicas. Comprimento máximo de 100 metros.	Funciona como um transporte que conduz as águas residuais na berma dos arruamentos, provenientes dos ramais de ligação, até um sistema distrital.
Intercetor e Emissário	Básico	Grandes dimensões e extensão, por vezes sem receber caudal ao longo de muitos km's.	Recolha das águas drenadas pelos colectores principais, nas várias zonas urbanas e rurais. Encaminhamento das águas para as ETAR.
Câmara de visita	Básico	Órgão acessório situado nas extremidades das condutas.	Vala que permite o acesso à rede. É um elemento crucial na junção de colectores, e na mudança de diâmetros, direcções e inclinações da rede.
Câmara de corrente de varrer	Básico	Órgão acessório situado nas cabeceiras da rede.	Assegura a autolimpeza dos colectores, funcionando como uma espécie de poço de retenção de água.
Sistemas Elevatórios	Secundário	Constituídos por estações elevatórias, poços de bombagem, condutas elevatórias, electrobombas, etc.	Sistemas complexos que exigem uma manutenção delicada. Fazem o transporte elevatório das águas residuais, em situações cuja drenagem gravítica não é considerada técnica e economicamente a solução adequada.
Sifões invertidos	Se necessário	Troço gravítico dum colector sob a linha de energia do escoamento, que funciona sob pressão.	É concebido para transpor, sem perda significativa de energia, obstáculos diversos como depressões naturais do terreno, condutas, vias de comunicação, etc. [12]
Tanques de sifão automático	Se necessário	Câmara de retenção, utilizada em conjunto com os sifões invertidos.	Concebido para reter a água residual e gerar um escoamento com velocidade elevada, e garantem autolimpeza.

Quadro 2.4 - Componentes e funções dos diferentes órgãos de drenagem pluvial [13]

Componente	Utilização	Implementação	Finalidade
Dispositivos de coleta	Básico	Caleiras, sarjetas e sumidouros.	Componentes de recolha de águas pluviais do terraço e da superfície impermeável.
Valeta	Básico	Canal aberto instalado na berma das vias públicas.	Responsável pela condução da água da superfície para o subterrâneo (através dos sumidouros ou sarjetas).
Rede de coletores	Básico	Tubagens por norma com menor diâmetro do que as da rede de águas residuais.	Recolha e transporte das águas pluviais drenadas superficialmente. O destino final poderá ser uma linha de água ou uma estação de tratamento de águas.
Câmaras de visita e de corrente de varrer	Básico	Descrito anteriormente.	Finalidade descrita anteriormente.
Descarregador de tempestades	Básico	Orifícios laterais, frontais ou de salto, instalados em diversos tipos de componentes.	Órgão para fazer face à necessidade de colocar fora de serviço a rede a jusante, ou para fazer face à afluência excessiva de águas pluviais, drenando para o exterior o excedente da tempestade.
Métodos de retenção de caudal	Se necessário	Bacias de retenção e de infiltração, valas e pavimentos drenantes e de infiltração, etc.	Órgãos usados em sistemas pluviais, e mais raramente em sistemas unitários, que se destinam principalmente a reduzir os caudais de ponta de cheia à custa de efeitos de retenção e amortecimento.
Passagens hidráulicas	Se necessário	Conduitas subterrâneas sob vias ou outros obstáculos à linha de água.	Permitem que a água escoe sob uma estrada, ferrovia, pista, ou uma outra obstrução similar. Variam desde canais de pequena dimensão a grandes estruturas de betão armado.

2.2.4 TUBAGENS E ACESSÓRIOS

Os coletores ou tubagens são parte crucial do funcionamento das redes de drenagem. Estes componentes estão em permanente contacto com a água, que tratando-se de águas com componentes poluentes e tóxicos, criam gases nocivos à saúde ambiental, humana e do próprio material. O material das conduitas deve, por isso, ser escolhido com o devido cuidado, atendendo ao tipo de água e ao meio onde se inserem. No mercado atual, pode encontrar-se: fibrocimento (FC), aço, ferro fundido dúctil (FFD), policloreto de vinilo (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD), poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV) e betão armado e pré-esforçado. [14]

A escolha do material resulta de vários fatores técnicos e económicos, numa conjuntura de mercado que é muito dinâmica, pelo que, em cada situação de projeto e mesmo na fase de adjudicação da obra,

deve ser efetuada uma avaliação das características e comportamentos expectáveis. Alguns dos fatores de ponderação são por exemplo:

- Custo;
- Propriedades mecânicas, designadamente a resistência à pressão interior, a rigidez diametral e a resistência à flexão;
- Propriedades hidráulicas, por exemplo a rugosidade interior e número de juntas;
- Propriedades físicas, como a massa volúmica e a condutibilidade elétrica;
- Propriedades químicas, nomeadamente a resistência à corrosão;
- Disponibilidade do mercado e de pessoal especializado na montagem;
- Experiência e uniformização de materiais utilizados em cada sistema (facilitando a exploração, manutenção e gestão de “stocks” de cada entidade).

Para cada tipo de material mencionado terá interesse referir as seguintes características:

- Gama de diâmetros dos tubos e dos acessórios;
- Comprimentos dos tubos;
- Pressões de serviço (classes ou pressões nominais);
- Tipos de juntas;
- Acessórios disponíveis;
- Implicações relativamente às valas;
- Proteção catódica;
- Principais vantagens e inconvenientes de cada tipo.

2.2.4.1 Fibrocimento (FC)

Os tubos de fibrocimento são fabricados a partir de uma pasta homogénea constituída por uma mistura de cimento Portland e de fibras de um material de reforço, com adição de água. Cada tubo é obtido pelo enrolamento e compressão de camadas de pasta, muito finas, sobre um mandril metálico, até uma espessura determinada. Após o fabrico, os tubos de fibrocimento são imersos em água durante três a quatro semanas para que se verifiquem nas melhores condições as reações de presa e endurecimento, sendo em seguida submetidos às operações de controlo de acabamento e dimensões. [6]

A Norma NP EN 512 (1996) prevê dois tipos de tubos de cimento reforçado por fibras:

- Tipo AT (Tecnologia do Amianto) para produtos que contêm na sua formulação amianto crisótilo;
- Tipo NT (Tecnologia sem Amianto) para produtos reforçados com outras fibras e que não contêm amianto.

Este tipo de tubos tem caído em desuso devido à natureza cancerígena do amianto. Porém, nestas condições, estas conduitas têm as seguintes propriedades físicas e mecânicas:

Quadro 2.5 - Propriedades Físicas e Mecânicas de Fibrocimento [15]

Massa Volúmica	1 900 a 2 200 kg/m ³
Módulo de Elasticidade (médio)	
– Compressão Axial	E = 23 000 MN/m ²
– Flexão Longitudinal	E = 20 500 a 24 000 MN/m ²
– Esmagamento	E = 25 500 MN/m ²
– Pressão Interior	E = 33 000 MN/m ²
Módulo de Poisson	5 a 6
Tensão de rotura por tração devida à pressão interior	20 MN/m ²
Tensão de rotura por tração devida à compressão diametral (esmagamento)	45 MN/m ²
Tensão de rotura por tração devida à flexão longitudinal	25 MN/m ²

De acordo com a Norma NP EN 512 (1966), os tubos de fibrocimento com diâmetro nominal até DN1000 são classificados segundo a gama de valores da pressão nominal (PN) seguinte:

Quadro 2.6 - Gama de valores de Pressão Nominal dos tubos de Fibrocimento

PN (bar)											
2,5	4	6	7,5	9	10	12	12,5	15	16	17,5	20

Todavia é frequente que nem todos os fabricantes comercializem todos os valores de pressão descritos. Os tubos com diâmetro nominal superior a 1000 mm são dimensionados para satisfazer exigências específicas de um caso concreto. De acordo com a Norma NP EN 521 (1996), a série de diâmetros nominais, expressos em milímetros, é a seguinte:

Quadro 2.7 - Diâmetros nominais de tubos de Fibrocimento

DN (mm)	50	60	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	-	-

É corrente que o fabrico se limite, no entanto, a diâmetros iguais ou superiores ao DN150 para as pressões nominais PN 2,5 e 4; e a DN80 para PN 6. Deve entender-se que os diâmetros indicados são interiores, pelo que os diâmetros exteriores são tanto maiores quanto mais elevada é a pressão nominal. Os tubos de fibrocimento são fabricados com o comprimento nominal de 5 m.

2.2.4.2 Tubos de Aço

Os tubos de aço são fabricados por laminagem a quente, sem soldaduras, com comprimentos variáveis até 14 m. Podem também ser fabricados por enrolamento e soldadura de chapas de aço (nos maiores diâmetros).

Este material compõe tubos elásticos com excelentes características em termos de resistência, fazendo com que sofram pouco por efeito de assentamento do terreno. São tubos leves, e por isso é facilitado o seu transporte e assentamento. Encontram-se também disponíveis no mercado, tubos de aço com diferentes tipos de revestimentos sobre as duas faces, concebidos com o objetivo de proteger o material aço da corrosão, permitindo-lhe manter as suas características face a condições de utilização mais exigentes ou agressões exteriores particularmente severas.

Os revestimentos interiores, em geral, são realizados com argamassas de cimento centrifugadas, enquanto para as proteções exteriores se utilizam, por exemplo, termoplásticos aplicados em três camadas de revestimento (uma resina epoxídica, um adesivo copolímero e uma camada exterior em polipropileno). [6]

Os tubos de aço são fabricados numa extensa gama de diâmetros nominais, expressos em milímetros, que incluem:

Quadro 2.8 - Gama de diâmetro nominais de Tubos de Aço

DN (mm)	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225
	250	275	300	325	350	400	500	600	700	800
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000

2.2.4.3 Tubos de Ferro Fundido (FFD)

Na designação genérica de “ferro fundido” integram-se dois materiais com características distintas – o ferro fundido cinzento e o ferro fundido dútil. Durante a solidificação, o carbono separa-se da massa metálica apresentando-se sob a forma de palhetas ou lamelas – ferro fundido cinzento ou ferro fundido de grafite lamelar –, ou sob a forma de nódulos aproximadamente esféricos – ferro fundido nodular ou ferro fundido dútil.

O ferro fundido dútil (FFD), apesar de possuir o mesmo teor em grafite do que o ferro fundido cinzento, usufrui de notáveis características mecânicas, como resistência à tração, ao choque e bastante elasticidade; para além das propriedades comuns: resistência à corrosão, aptidão para moldagem e para ser maquinado, resistência ao desgaste por fricção e capacidade de amortecimento de vibrações.

Os tubos de FFD são geralmente fabricados por centrifugação. O metal em fusão é submetido a uma elevada velocidade de rotação e, devido à força centrífuga, o ferro no estado líquido é lançado contra as paredes de um molde de eixo horizontal, para formar o tubo desejado. Depois de moldados, os tubos são submetidos a um tratamento térmico especial, destinado a tornar o metal homogéneo e resistente ao corte e ao choque.

No interior, os tubos são revestidos com um produto betuminoso ou com argamassa de cimento, sendo o segundo preferível, sobretudo quando fabricado a alto-forno, aplicado por centrifugação, que confere aos tubos uma superfície pouco rugosa e os preserva do risco de incrustações. Outras soluções *standard* especiais correspondem a um revestimento interno em poliuretano, aconselhável no caso de águas particularmente agressivas.

Os revestimentos exteriores poderão ser realizados com diferentes produtos, desde uma pintura asfáltica até recobrimentos reforçados concebidos para neutralizarem a ação de meios exceçãoalmente agressivos. Para além das gamas *standard* clássicas, fornecidas habitualmente com uma metalização com zinco combinada com uma pintura betuminosa, os fabricantes disponibilizam uma grande diversidade de revestimentos externos. [6]

Os tubos de ferro fundido são fabricados numa extensa gama de diâmetros nominais, expressos em milímetros, que incluem:

Quadro 2.9 - Gama de Diâmetro Nominais de Tubos de Ferro Fundido

DN	60	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500
(mm)	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1500	1600	1800	2000

O comprimento dos tubos varia com o diâmetro, sendo usual o comprimento de 6 metros para diâmetros até 600 mm, e de 7 m (ou valores próximos de 8,2 m) para diâmetros superiores.

2.2.4.4 Tubos de Policloreto de Vinilo (PVC)

Os tubos de PVC são obtidos por extrusão duma mistura de poli (cloreto de vinilo) com aditivos lubrificantes, estabilizantes e pigmentos. Quando isenta de plastificantes, é designada por policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U).

As características principais dos tubos são determinadas pelas propriedades da matéria-prima e pelas condições de extrusão, podendo considerar-se como valores médios os seguintes:

Quadro 2.10 - Propriedades da matéria-prima de Tubos de Policloreto de Vinilo [15]

Massa Volúmica	1 400 kg/m ³
Resistência à Tração (a 20°C)	20 MN/m ²
Módulo de Elasticidade à Tração (a 20°C)	3 000 MN/m ²
Resistência à Compressão (a 20°C)	80 MN/m ²
Resistência à Flexão (a 20°C)	15 MN/m ²

Os tubos são fabricados em varas de 6 m de comprimento. Os diâmetros nominais indicados na Norma EN 1452-2, são os seguintes:

Quadro 2.11 - Diâmetros nominais dos tubos de Policloreto de Vinilo

DN	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280
(mm)	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	-

2.2.4.5 Tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Os tubos de polietileno obtêm-se por extrusão de um polímero devidamente aditivado, o termoplástico, a uma temperatura próxima de 260°C. O termoplástico é fundido e impelido pela extrusora através do bocal do molde, a uma pressão tão uniforme quanto possível. Os tubos de polietileno poderão ser de “massa volúmica baixa” ou de “massa volúmica alta”, devendo empregar-se os do segundo tipo, conhecidos pela sigla PEAD, nos sistemas de abastecimento de água.

A evolução dos processos de fabrico das matérias-primas permite actualmente, produzir diferentes tipos de resinas de polietileno de alta densidade. Estas são utilizadas no fabrico de tubos, que apresentam características específicas sucessivamente melhoradas. Inicialmente, eram fabricados com resinas PE63 (MRS 63; ss= 5,0 MPa). Actualmente, os tubos de PEAD estão a ser produzidos com resinas PE80 (MRS 80; ss= 6,3 MPa) e, mais recentemente, com a nova geração de resinas PE100 (MRS 100; ss= 8,0 MPa).

Estas matérias-primas não só vieram permitir sucessivas reduções da espessura dos tubos, sem lhes retirar resistência à pressão interna, como também possibilitaram o alargamento das gamas de pressões nominais disponíveis. As propriedades físicas mais significativas apresentam valores como:

Quadro 2.12 - Propriedades Físicas das diversas resinas usadas na produção de Tubos PEAD [15]

Propriedades Físicas	PE 80	PE 100	Unidade
Densidade	0,956	0,961	kg/m ³
Tensão de Limite Elástico	22	23	MN/m ²
Alongamento à Rotura	> 600	> 600	%
Módulo de Flexão	900	950	MN/m ²
Módulo de Elasticidade	900	1400	MN/m ²
Índice de Fluidez	0,5	0,4	8/10 min
Coeficiente de Dilatação Linear	1,5 x 10 ⁻⁴	1,5 x 10 ⁻⁴	° K ⁻¹
Condutibilidade Térmica	0,41 - 0,45	0,41-0,45	W/mk
Estabilidade Térmica	15	15	Minutos

Os diâmetros e as pressões de serviço dos tubos de PEAD encontram-se especificados na Norma europeia EN 12 201. A série de diâmetros nominais é idêntica à referida para os tubos de PVC-U, incluindo ainda o diâmetro 1200 mm. Os diâmetros nominais são exteriores, o que juntando ao facto da espessura das paredes para as pressões nominais mais elevadas ser apreciável, os diâmetros úteis poderão tornar-se consideravelmente inferiores aos diâmetros nominais.

Os tubos de polietileno de alta densidade podem ser fabricados em varas de 6 ou de 12 m, ou em rolos com comprimentos até 150 m, de acordo com os diâmetros e com as possibilidades de transporte. Como se compreende, só os menores diâmetros poderão, em geral, encontrar-se disponíveis em rolos. Para os grandes diâmetros, tem sido utilizado o procedimento de deslocar uma instalação de extrusão para o local da obra, onde tem lugar o fabrico do tubo.

2.2.4.6 Tubos de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)

Os tubos de PRFV são fabricados com fios de vidro e resinas de poliéster. Sobre um mandril de aço, são enrolados em espiral os fios de vidro, previamente saturados com resina, dobrando em ângulos predeterminados. Após a reação química de polimerização da resina de poliéster, os tubos são extraídos do mandril e sujeitos a controlo de qualidade. Dispõem habitualmente de três camadas distintas:

- A interior é muito rica em resina, conferindo à parede interna do tubo o porte adequado de estanqueidade, pequena rugosidade e resistência química.
- A intermédia é constituída predominantemente por fios de vidro enrolados a tensão constante, sendo a sua principal função conferir ao tubo a adequada resistência estrutural.
- A terceira camada, de proteção exterior, poderá adquirir diferentes características, de acordo com o tipo de montagem a utilizar.

As propriedades físicas e mecânicas mais importantes deste tipo de tubos são as seguintes:

Quadro 2.13 - Propriedades físicas e mecânicas dos tubos de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro [15]

Peso volúmico	1 800 kg/cm ³
Resistência à Tração (fabrico manual)	100 MN/m ²
Resistência à Tração (fabrico mecânico)	1 000 MN/m ²
Resistência à Flexão (fabrico manual)	150 MN/m ²
Resistência à Flexão (fabrico mecânico)	1 000 MN/m ²
Resistência à Compressão (fabrico manual)	140 MN/m ²
Resistência à Compressão (fabrico mecânico)	400 MN/m ²
Módulo Elástico (fabrico manual)	6 800 MN/m ²
Módulo Elástico (fabrico mecânico)	25 000 MN/m ²

Os tubos de poliéster reforçado com fibra de vidro podem classificar-se, para cada diâmetro nominal, em função da sua rigidez e da sua pressão nominal. A rigidez traduz a resistência que o tubo apresenta às cargas exteriores e às depressões interiores. As gamas de fabrico corrente abrangem três classes de rigidez inicial (N/m²): 2500, 5000 e 10000.

As classes de pressão nominal correntes para tubos de PRFV são PN: 1, 6, 10, 16, 20, 25 e 32. Em princípio, cada classe de pressão nominal pode combinar-se com cada classe de rigidez, embora nem todas as classes de pressão nominal indicadas estejam disponíveis em todos os diâmetros e graus de rigidez. A gama de diâmetros correntes de tubos de poliéster compreende os seguintes valores em milímetros:

Quadro 2.14 - Gama de diâmetros de tubo de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro

DN (mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
	800	900	1000	1200	1400	1500	1600	1800	2000	2400	-

Os tubos de poliéster fabricados pelo processo misto manual-mecânico encontram-se disponíveis em varas com 4 e 6 metros de comprimento. Aos tubos fabricados mecanicamente correspondem habitualmente comprimentos de 6, 9, 12 e 18 m.

2.2.4.7 Tubos de Betão Armado e Pré-Esforçado

Os tubos de betão pré-esforçado fabricados em Portugal são constituídos por um núcleo de betão, pré-esforçado longitudinalmente, cintado por arame de aço de alta resistência que é enrolado sob tensão. Começa por se estabelecer uma tensão inicial permanente de compressão, no betão, destinada a compensar as tensões de tração introduzidas pelas solicitações. O pré-esforço é dimensionado de modo a garantir que não se produzam trações no betão para todas as ações a considerar.

O reboco de revestimento cria e mantém em torno do aço de pré-esforço um ambiente alcalino, constituindo uma proteção química eficaz para evitar a corrosão. O betão deverá apresentar um baixo fator água-cimento, sendo centrifugado a baixa velocidade e submetido a compactação simultânea. [16] Em termos de propriedades físicas e mecânicas, poderão referir-se os seguintes valores:

Quadro 2.15 - Resistência do betão à compressão simples

Na aplicação do pré-esforço longitudinal	35 MN/m ²
Na aplicação do pré-esforço transversal	45 MN/m ²
Aos 28 dias do pré-esforço	50 MN/m ²

Actualmente, o comprimento habitual dos tubos de betão pré-esforçado é de 5 m. Os diâmetros mais comuns dos tubos de betão pré-esforçados são:

Quadro 2.16 - Gama de diâmetros de tubos de betão pré-esforçado

DN (mm)	300	400	500	600	700	800	1000	1250	1600	1700
---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

2.2.4.8 Síntese

O quadro seguinte sintetiza as principais vantagens e inconvenientes dos diversos materiais utilizados nas tubagens de redes de drenagem de águas residuais.

Quadro 2.172 - Vantagens e Inconvenientes dos diversos materiais utilizados nas tubagens de águas residuais
[8]

Tipo de Tubagem	Principais Vantagens	Principais Inconvenientes
Fibrocimento	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo coeficiente de rugosidade (boas características hidráulicas); - Peso reduzido; - Baixa condutividade térmica; - Resistência à corrosão electroquímica; - Flexibilidade das juntas - Preços competitivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidade ao choque e a esforços de flexão; - Não existem acessórios próprios; - Sensibilidade a águas e terrenos agressivos; Necessidade de revestimento interior e exterior; - Condicionalismos de instalação decorrentes da presença de amianto no material de composição; Ataque pelo ácido sulfídrico.
Aço	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada resistência mecânica; - Impermeabilidade a gases e óleos; - Possibilidade de utilização de juntas flexíveis; Simplicidade do equipamento de instalação; Possibilidade de utilização de juntas travadas (evitando ancoragens). 	<ul style="list-style-type: none"> - Exigência de proteção, interna e externa, para controlo da corrosão; - Exigência de pessoal qualificado; - Custo elevado.
Ferro Fundido Dúctil	<ul style="list-style-type: none"> - Boa resistência mecânica; - Impermeável aos gases e óleos; - Resistência a elevadas pressões internas; - Possibilidade de utilização de juntas travadas (evitando ancoragens); - Disponibilidade de acessórios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso elevado; - Corrosão por ácido sulfúrico (o que exige proteção) e outros ácidos; - Custos relativamente elevado.
PVC	<ul style="list-style-type: none"> - Leveza; - Boa resistência, em regra, a produtos químicos; - Completa gama de acessórios; - Preços competitivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidade ao choque e entalhes; - Risco de ovalização; - Sensibilidade à luz (UV) e ao calor.
PEAD	<ul style="list-style-type: none"> - Leveza e resistência, em regra, a produtos químicos; - Flexibilidade; - Boa resistência ao choque e a vibrações. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ataque por detergentes, solventes e hidrocarbonetos; - Degradação por radiação solar e calor; - Difícil deteção de fugas.
PRFV	<ul style="list-style-type: none"> - Boa resistência à corrosão química e electrolítica; - Peso reduzido; - Facilidade de fabrico; - Uniões flexíveis; 	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnerabilidade a choques; - Vulnerabilidade à corrosão sob tensão; - Exigência de boa compactação das terras envolventes.

- Baixo coeficiente de rugosidade.		
Betão Simples ou Armado	<ul style="list-style-type: none"> - Experiência de utilização - Vasta gama de resistências mecânicas; - Preços competitivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragilidade ao choque; - Sensibilidade a águas e terrenos agressivos; - Reduzida flexibilidade das juntas e garantia reduzida de estanquicidade hidráulica; - Ataque pelo ácido sulfídrico.
Betão Armado ou pré-esforçado	<ul style="list-style-type: none"> - Existência de acessórios; - Possibilidade de elevada resistência; - Adaptação aos traçados; - Facilidade de ligação a tubagens de outros materiais; - Procedimentos de reabilitação bem estabelecidos; - Competitividade económica para grandes diâmetros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pouca flexibilidade de juntas; - Elevado peso; - Vulnerabilidade ao ataque de gás sulfídrico e outros ácidos; - Dificuldade de garantia de estanquicidade.

2.3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS

2.3.1 ASPETOS GERAIS

Desde sempre que qualquer aglomerado populacional teve necessidade de encontrar água para consumo. Controlar e/ou racionar o consumo de água potável vem sendo por isso, desde há muitos anos, uma regra vital à vida humana. Note-se que, ao longo da história da civilização humana, há prova de aquedutos, termas, reservatórios, etc., das mais variadas formas e dos mais variados materiais.

Atualmente, e cada vez mais, a população tem tendência a usar e gastar mais a água potável disponível. As redes de abastecimento acompanham esta evolução, sendo alguns dos serviços básicos garantidos pelas redes de abastecimento de água, os seguintes:

- Abastecimento doméstico;
- Abastecimento comercial e industrial;
- Abastecimento de fontanários públicos;
- Serviços públicos de combate a incêndios, limpeza de ruas;
- Enchimento de tanques e piscinas.

Um sistema de distribuição de água urbano deve ser eficiente e operado para o horizonte diário, gerindo as horas de maior consumo com o menor gasto de energia elétrica e de manutenção, fornecendo aos utilizadores condições de pressão desejáveis. Além disso, o sistema de distribuição deve ser confiável no sentido de permitir o suprimento de água em condições anormais ocasionadas por avarias em elementos do sistema.

Os sistemas de abastecimento de águas são a rede complementar da rede de saneamento. Enquanto uma drena as águas residuais, aplicando um tratamento intensivo de desinfecção das águas sujas para posterior lançamento a leitos hidráulicos naturais, a outra rede recolhe as águas naturais e aplica-lhes um tratamento com o intuito de as tornar adequadas ao consumo humano. Apesar de existir um

paralelismo óbvio entre as duas redes, as componentes dos sistemas diferem nas suas competências para cumprirem os objetivos pretendidos, distintos.

2.3.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As estruturas concebidas para este tipo de rede, entre tubagens, estações elevatórias, estação de tratamento, etc., são elementos similares aos descritos no subtítulo de drenagem. No abastecimento de água, porém, o percurso da água é inverso ao de saneamento, implicando que as mesmas estruturas possam ter funções muito diferentes e, por isso, componentes próprias também. Tal como representado na Figura 2.2, os principais componentes deste sistema constituem as etapas de abastecimento descritas de seguida. [3]

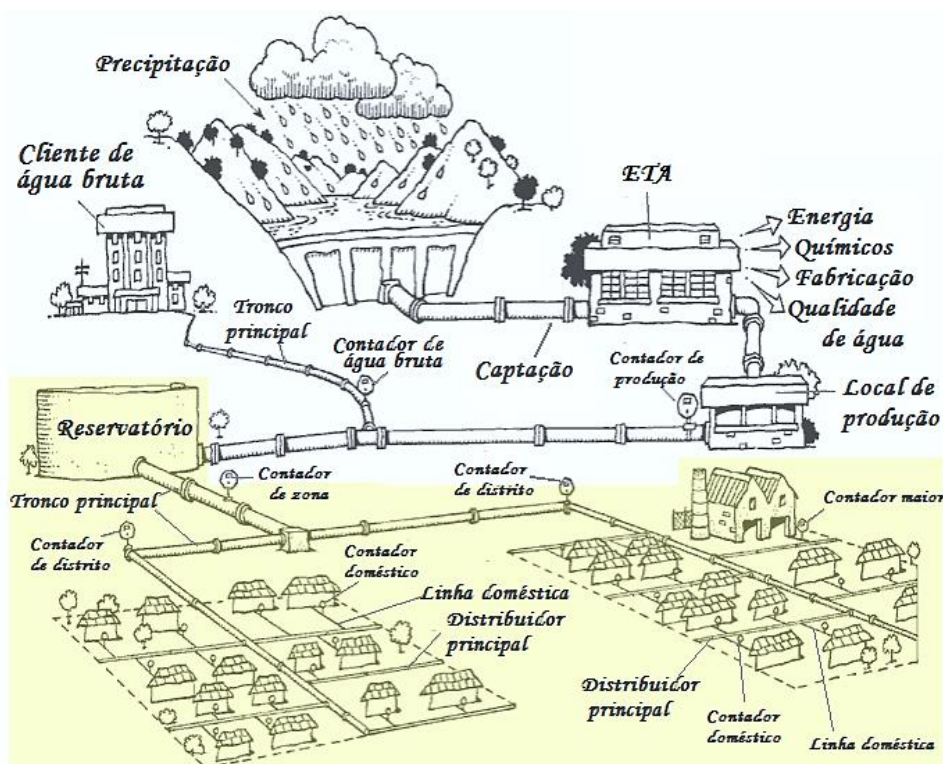


Figura 2.2 – Esquema de um sistema de abastecimento de águas urbano (Adaptado de [17])

- Captação – A captação de águas em origens naturais, como rios, lagos ou outras fontes superficiais e subterrâneas, é constituído por um conjunto de equipamentos e tubagens, que devem ter em atenção aos aspetos económicos, técnicos e ambientais, já que o contacto com a fonte de captação pode alastrar contaminações;
- Tratamento – O tratamento nas ETA varia com a origem da água, seja superficial ou subterrânea. Este pode ser físico, químico ou bacteriológico em águas subterrâneas, e no caso de águas superficiais é realizado também o tratamento de lamas;
- Reservatórios - Regulariza os caudais afluentes e os caudais cedidos, de modo a permitir o armazenamento quando os primeiros são superiores. Por outro lado, estes dispositivos permitem a segurança de que, em situações de carácter extraordinário, como avarias do sistema adutor ou ocorrência de incêndios, existe acesso a uma grande quantidade de água;
- Rede de distribuição – ao conjunto de condutas que fazem o transporte da água potável desde os reservatórios aos utilizadores, denomina-se rede de distribuição. Esta pode ser ramificada ou

emalhada, constituir uma rede principal em parceria com uma secundária, e contém elementos de medição e controlo, os contadores principais e de zona.

2.3.3 TUBAGENS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os materiais das condutas aplicadas em redes de saneamento, são também usados em redes de abastecimento, pelo que as características mecânicas dos vários tipos de tubagem já foram descritas na secção anterior. Assim, estabelece-se de seguida uma breve referência dos materiais mais usados na rede de abastecimento de águas.

Ao nível da rede de distribuição, os materiais mais comuns são o PVC, o fibrocimento e o PEAD. Em algumas zonas mais desatualizadas é ainda possível encontrar ferro fundido, polietileno de baixa densidade (PEBD), policloreto de vinilo corrugado (PVCC), betão armado e aço.

Na rede de adução, os mais comuns são o FFD, o betão armado e o PEAD, existindo também em menor quantidade, o PVC, fibrocimento, aço e ferro fundido.

2.4 BASES DO CÁLCULO HIDRÁULICO-SANITÁRIO

2.4.1 DIMENSIONAMENTO DE COLECTORES GRAVÍTICOS DE DRENAGEM

No dimensionamento hidráulico-sanitário de águas residuais, em sistemas separativos domésticos ou industriais, devem ser adotados os seguintes princípios [18], de acordo com o Decreto-Regulamentar n° 23/95:

- a. A velocidade máxima de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder 3 m/s ($U_{\max} \leq 3 \text{ m/s}$);
- b. A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração não deve ser inferior a 0.6 m/s ($U_{\min} \geq 0.6 \text{ m/s}$);
- c. Sendo inviável o limite referido na alínea b), como sucede nos coletores de cabeceira, devem estabelecer-se declives que assegurem estes valores limites para o caudal de secção cheia;
- d. Nos coletores domésticos, a altura da lâmina líquida não deve exceder 0,5 da altura total para diâmetros iguais ou inferiores a 500 mm ($y/D \leq 0.5$, para $DN \leq 500 \text{ mm}$) e 0,75 para diâmetros superiores a este valor ($y/D \leq 0.75$, para $DN > 500 \text{ mm}$);
- e. A inclinação dos coletores não deve ser, em geral, inferior a 0,3% nem superior a 15% ($0.003 < i < 0.15$);
- f. Admitem-se inclinações de coletores inferiores a 0,3%, desde que seja garantido o rigor do nivelamento, a estabilidade do assentamento e a tensão de arrastamento;
- g. Quando houver necessidade de intercalar coletores com inclinações superiores a 15%, devem prever-se dispositivos especiais de ancoragem.

2.4.2 VERIFICAÇÃO HIDRÁULICO-SANITÁRIA DE COLETORES GRAVÍTICOS

A verificação destes critérios no sistema de drenagem separativa, em termos de alturas e velocidades, é geralmente efectuada admitindo o escoamento em regime permanente e uniforme, recorrendo a métodos analíticos ou gráficos, definidos de seguida. No entanto, no caso de se tratar de coletores de dimensão significativa, ou no caso de coletores pluviais ou unitários em que o regime é manifestamente variável, pode ser aconselhável a análise hidráulica do sistema recorrendo a modelos de cálculo mais complexos (que consideram o regime permanente não uniforme ou o regime variável).

a) Método analítico

Para uma secção circular de diâmetro D, verificam-se as seguintes expressões:

$$S = \frac{(\theta - \sin \theta) \times D^2}{8} \quad (2.1.)$$

$$P = \frac{D \times \theta}{2} \quad (2.2.)$$

$$R = \frac{D}{4} \times \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \quad (2.3.)$$

sendo θ , como demonstrado na Figura 2.3, o ângulo ao centro que caracteriza geometricamente o escoamento expresso em radianos, S a secção de escoamento, P o perímetro molhado e R o raio hidráulico ($R=S/P$).

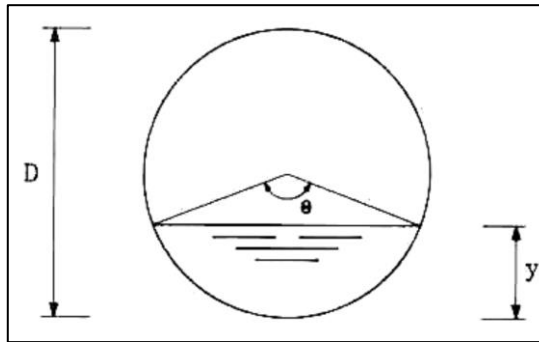


Figura 2.3 – Esquema ilustrativo dos parâmetros usados no cálculo hidráulico dos colectores com secção circular e escoamento de águas residuais pelo sistema separativo

A condição do escoamento em regime uniforme pode ser obtida pela fórmula de Manning-Strickler, designadamente:

$$Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times \sqrt{i} \quad (2.4.)$$

onde K_s é a rugosidade interior da conduta; ou por processos iterativos a partir das expressões propostas por Malafaya-Baptista e Maria Fernanda Proença:

$$q = \frac{Q}{Q_0} \quad (2.5.)$$

$$y/D = 0.603 \times q^{0.466} \times e^{0.282 \times q}, \text{ para } q < 1 \quad (2.6.)$$

$$y/D = 0.921 \pm 0.046 \times \sqrt{46.887 - 43.449 \times q}, \text{ para } q \geq 1 \quad (2.7.)$$

$$y = \frac{D}{2} \times \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right), \text{ para } q \geq 1 \quad (2.8.)$$

onde Q_0 é o caudal em secção cheia e q é o caudal unitário.

b) Método gráfico

No caso do método gráfico, deve calcular-se o caudal a secção cheia (Q_0) e a velocidade a secção cheia (U_0) e, com base na relação entre o caudal de projeto e o caudal de secção cheia (Q/Q_0), determinar as relações y/D e U/U_0 , recorrendo à Figura 2.4.

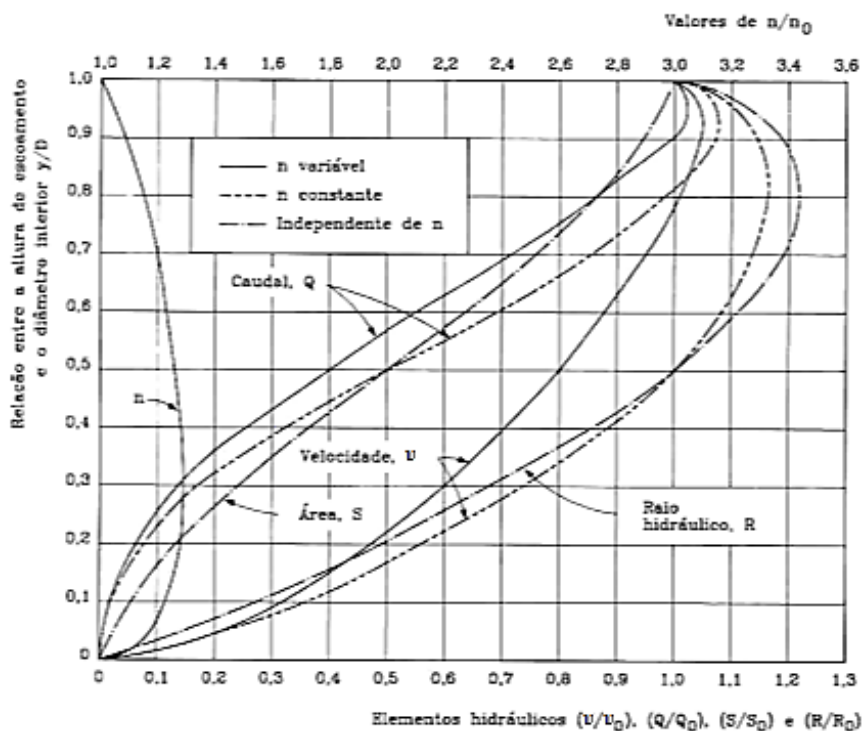


Figura 2.4 – Gráfico de verificação do cumprimento das condições de altura de escoamento, condições de autolimpeza e de velocidade máxima [7]

Uma vez determinados estes valores, torna-se possível verificar, por comparação com os limites regulamentares, o cumprimento, ou não, das condições de altura de escoamento e das condições de autolimpeza (2.9.) e de velocidade máxima. [18]

$$\tau = \gamma \times R \times i \geq 1 \quad (2.9.)$$

onde τ é a tensão de autolimpeza [N/m^2] e γ é o peso volúmico do esgoto [N/m^3].

2.4.3 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS

O cálculo destes elementos depende de um dado fundamental: o caudal bombado pela bomba instalada a montante da conduta elevatória. Este, por sua vez, é determinado de modo a responder às solicitações da população e da capitação da zona onde se insere a rede de drenagem.

O diâmetro das condutas elevatórias pode ser calculado por duas formas:

$$(\text{Bresse}) D = 1.5 \times \sqrt{Q} \quad (2.10.)$$

$$(\text{Dacach}) D = 0.9 \times Q^{0.45} \quad (2.11.)$$

O diâmetro obtido pelos cálculos anteriores diz respeito ao valor exato que se deveria aplicar no sistema elevatório, no entanto, uma vez que as tubagens não são feitas à medida de cada sistema, é necessário escolher um diâmetro comercial de uma gama que poderá ser muito semelhante, menor ou maior do que o valor obtido. Deste dimensionamento final faz parte a análise económica, importante na escolha do diâmetro comercial para equilibrar os custos iniciais com os custos de manutenção.

Como se pretende mostrar na Figura 2.5(a), o investimento inicial do equipamento é tanto maior quanto maior for o tamanho da conduta, devido à sua conceção e material de construção. Em contrapartida, os custos de energia consumida variam inversamente com o diâmetro, revelando-se maiores quanto menor for o diâmetro, representado na Figura 2.5(b).

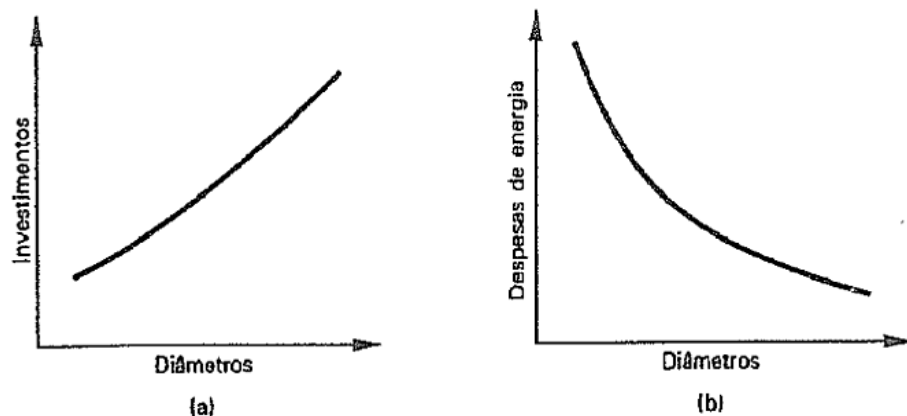


Figura 2.5 – Custos da aplicação dos diâmetros a condutas elevatórias iniciais (a) e ao longo da vida útil (b)

Este facto deve-se essencialmente às perdas de carga, que como se pode comprovar pela expressão (2.12.), são maiores com o aumento da velocidade de escoamento, verificado pela diminuição do diâmetro. [19]

$$\Delta H = \frac{k \times L \times U^2}{2 \times g} = \frac{k \times L \times Q^2 \times 8}{g \times \pi^2 \times D^4} \quad (2.12.)$$

A sobreposição dos dois gráficos anteriores, determina o custo de aplicação total por diâmetro, através de uma nova curva definida pelo somatório das anteriores. A interseção das duas curvas é ponto óptimo de investimento, no qual o diâmetro resultante é o mais rentável para o sistema em análise. Assim, é aconselhável aproximar o mais possível a instalação real a este tamanho. Na Figura 2.6, estão esboçadas as 3 curvas referidas neste parágrafo, bem como a sinalização do ponto ótimo.

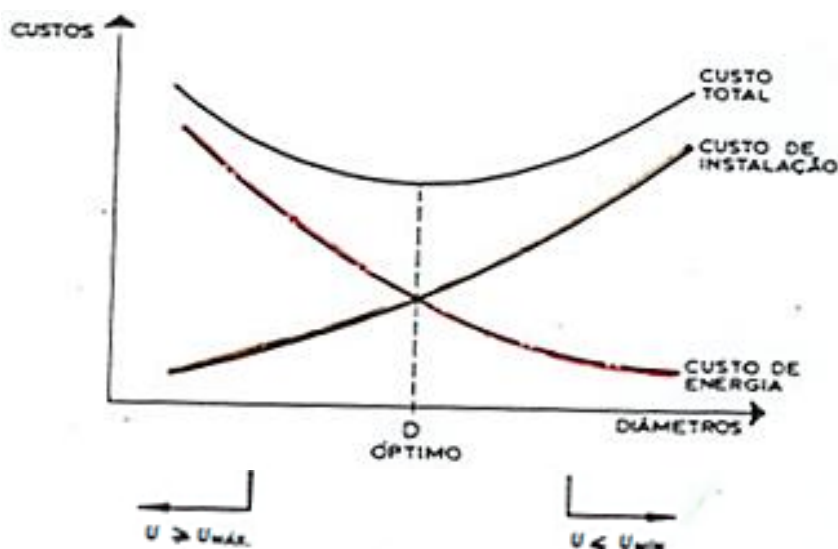


Figura 2.6 – Determinação do ponto ótimo de instalação dum certo diâmetro numa conduta elevatória

O diâmetro das condutas elevatórias é ainda importante na verificação hidráulica. O volume da conduta (que depende do diâmetro) não deve exceder o volume útil do poço de bombagem porque, a decorrer esse caso, o período de detenção hidráulica seria superior ao verificado no poço. No caso de se tratar de um sistema de águas residuais, teria ainda a agravante decorrente de se tratar de uma detenção complementar da já anteriormente ocorrida no poço de bombagem, e do escoamento se processar sob pressão. Essas condições podem contribuir para a ocorrência de septicidade da massa líquida. [19]

Outro problema importante, ligado ao comportamento das condutas elevatórias, diz respeito à ocorrência e efeito dos choques hidráulicos, em consequência, sobretudo, das paragens bruscas dos grupos elevatórios.

Para ser garantida a condição de auto-limpeza, torna-se necessário que a velocidade de bombagem exceda um valor mínimo, necessário ao arraste das partículas em suspensão. Alguns autores recomendam genericamente velocidades mínimas de bombagem da ordem de 0,9 m/s a 1,2 m/s, admitindo, em certas circunstâncias, velocidades de 0,7 m/s.

2.4.4 CAUDAIS DE PROJETO

Em sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e industriais, os caudais de cálculo (ou de projecto) correspondem aos caudais mínimos e máximos do tempo de vida útil do sistema. Geralmente, adota-se os caudais de ponta do início de exploração como mínimos e os de ponta do ano horizonte de projeto para máximos.

O caudal doméstico drenado é estimado pelo caudal de abastecimento, já que a água consumida é também em grande parte drenada pelo sistema, aplicando-se um coeficiente de afluência em conformidade com o terreno rural ou urbano drenado. Prevendo a evolução do consumo de cada habitante e da população, e aplicando um fator de ponta, o cálculo do caudal médio diário anual (Q_{mda}) estima-se pela expressão:

$$Q_{mda} = \frac{Pop \times Cap \times C_{afl} \times F_p}{24 \times 3600} \quad (2.13.)$$

$$F_p = 1.5 + \frac{60}{\sqrt{Pop}} \quad (2.14.)$$

onde Pop [hab] é a população do ano em estudo (inicial ou horizonte), Cap [l/dia.hab] é a capitação, C_{afl} é o coeficiente de afluência que geralmente admite valores entre 0.7 e 0.9 e F_p é o fator de ponta, que aumenta ligeiramente o valor de cálculo de modo a serem considerados os picos de drenagem.

A acrescentar ao Q_{mda} , há mais dois caudais que o influenciam. O caudal industrial (Q_{ind}) e o caudal infiltrado (Q_{inf}), que consiste em ligações clandestinas, infiltrações, e outros caudais imprevistos. Este último pode ser considerado zero no cálculo do caudal no ano inicial, porque é uma condição desfavorável na verificação da velocidade mínima, e máximo para o cálculo no ano horizonte. [20]

Assim conclui-se que os caudais de ponta, inicial (Q_{pi}) e horizonte (Q_{ph}) são calculados pelas expressões:

$$Q_{pi} = Q_{ind,i} + \frac{Pop_i \times Cap_i \times C_{afl}}{24 \times 3600} \times \left(1.5 + \frac{60}{\sqrt{Pop_i}} \right) \quad (2.15.)$$

$$Q_{ph} = Q_{ind,h} + \frac{Pop_h \times Cap_h \times C_{afl}}{24 \times 3600} \times \left(1.5 + \frac{60}{\sqrt{Pop_h}} \right) + Q_{inf,h} \quad (2.16.)$$

2.5 REABILITAÇÃO EM INFRA-ESTRUTURAS ENTERRADAS

2.5.1 ASPETOS GERAIS

A construção de infra-estruturas de redes de água conta já com longos anos de história em Portugal, tendo vindo a expandir-se em grande escala. O aumento da cobertura da área populacional com rede de saneamento foi conseguido quase na totalidade, graças à grande mobilização de recursos financeiros por parte de entidades públicas e privadas. [21] A construção de inúmeras condutas no passado, fazem hoje o conforto e a segurança no bem-estar da população e do ambiente.

Porém, a evidência que estas mesmas condutas estão a chegar ao fim de vida útil e a necessitar de reabilitação é eminente. Se nada for feito nesse sentido, podem surgir problemas nas infraestruturas, como roturas, desgaste, infiltrações, etc., que trarão consequências a nível económico e ambiental. Os dados referentes aos anos de 1993 a 1998 revelam que os níveis de deficiências em condutas portuguesas são muito elevados por comparação às médias Europeias. Assinala-se uma vertiginosa diferença entre as 150 a 175 roturas/ano, por cada 100 Km de conduta portuguesa para apenas entre 20 a 50 roturas/ano, por cada 100 Km de conduta europeia. [22]

Podem distinguir-se dois tipos de intervenção: tradicional e sem abertura de vala. O primeiro consiste na retirada do volume de terras acima da conduta a reabilitar, de modo a proceder aos trabalhos com pleno acesso à conduta, visível em todo o seu comprimento. A segunda opção, e mais recente, é o tema de estudo da presente tese e envolve um procedimento muito mais limpo e simples, sem abertura de vala.

2.5.2 A DECISÃO DE INTERVENÇÃO

Existem vários factores que influenciam a tomada de decisão de recuperar uma conduta. Estes factores passam pela descoberta de possíveis anomalias estruturais ou hidráulicas, por possíveis ações de manutenção e pela prevenção de problemas, seja deterioração, capacidade hidráulica, etc. Na decisão da técnica de “recuperação” porém, há outros fatores importantes, como a extensão de conduta a recuperar, o traçado existente e a disponibilidade financeira. Qualquer técnica tem a sua capacidade e limitação de utilização.

Como cada caso é um caso, existe sempre uma dificuldade acrescida para que a escolha da técnica a utilizar seja a mais satisfatória. Em termos gerais, um processo de reabilitação de um sistema de drenagem urbana inclui uma sequência articulada e lógica de pesquisa, procedimentos, ações e processos de decisão, que se podem sistematizar nas seguintes fases [15]:

- 1ª Fase – Planeamento Inicial – inclui a recolha programada e sistemática de dados e de inspeções de campo complementares para a perceção de deficiências;
- 2ª Fase – Estudos de diagnósticos – inclui a análise e a avaliação de condições de funcionamento com recurso nomeadamente à visualização e à inspeção locais, à modelação matemática, à monitorização dos sistemas e à avaliação do desempenho, em termos hidráulicos, ambientais e estruturais;
- 3ª Fase – Estratégia e planeamento das intervenções de reabilitação – inclui a seleção das opções mais adequadas e a realização de um plano das intervenções no terreno;
- 4ª Fase – Execução e monitorização *ex-post* das intervenções – inclui a concretização das soluções preconizadas de reabilitação, a avaliação da sua performance *ex-post* e eventuais ajustes nas soluções finais.

2.5.3 REABILITAÇÃO TRADICIONAL

2.5.3.1 Aspetos Gerais

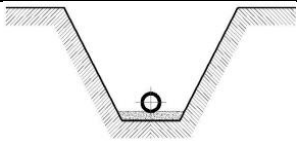
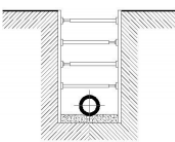
A intervenção tradicional é o que se designa à reabilitação que se tem vindo a aplicar ao longo dos anos. É um processo intuitivo que surge da abertura de uma vala longitudinal ao longo da extensão da conduta a uma determinada profundidade, de modo a possibilitar a substituição ou implantação de uma conduta nova (indicado no Quadro 2.18). A Figura 2.7 apresenta alguns exemplos de intervenções com vala aberta.



Figura 2.7 – Reabilitação de condutas pelo método tradicional, ou com vala aberta [23]

Em relação às condicionantes da geometria e constituição das valas, estas deverão estar de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, mais especificamente os artigos 25.º a 28.º. [23] A abertura da vala pode ter uma secção trapezoidal (convencional) ou estreita (retangular), como exemplificado no Quadro 2.18.

Quadro 2.18 – Tabela de abertura de vala (Adaptado de [23])

Abertura de vala	Convencional	Substituição da conduta existente	
		Implantação de uma nova conduta	
	Estreita	Substituição da conduta existente	
		Implantação de uma nova conduta	

2.5.3.2 Procedimento

A técnica de abertura de vala estreita é em tudo idêntica à técnica de abertura de vala convencional, diferindo apenas na dimensão da largura da vala que é reduzida ao mínimo indispensável para a execução dos trabalhos. O procedimento em ambos os casos consiste nos seguintes passos, esquematizados na Figura 2.8.

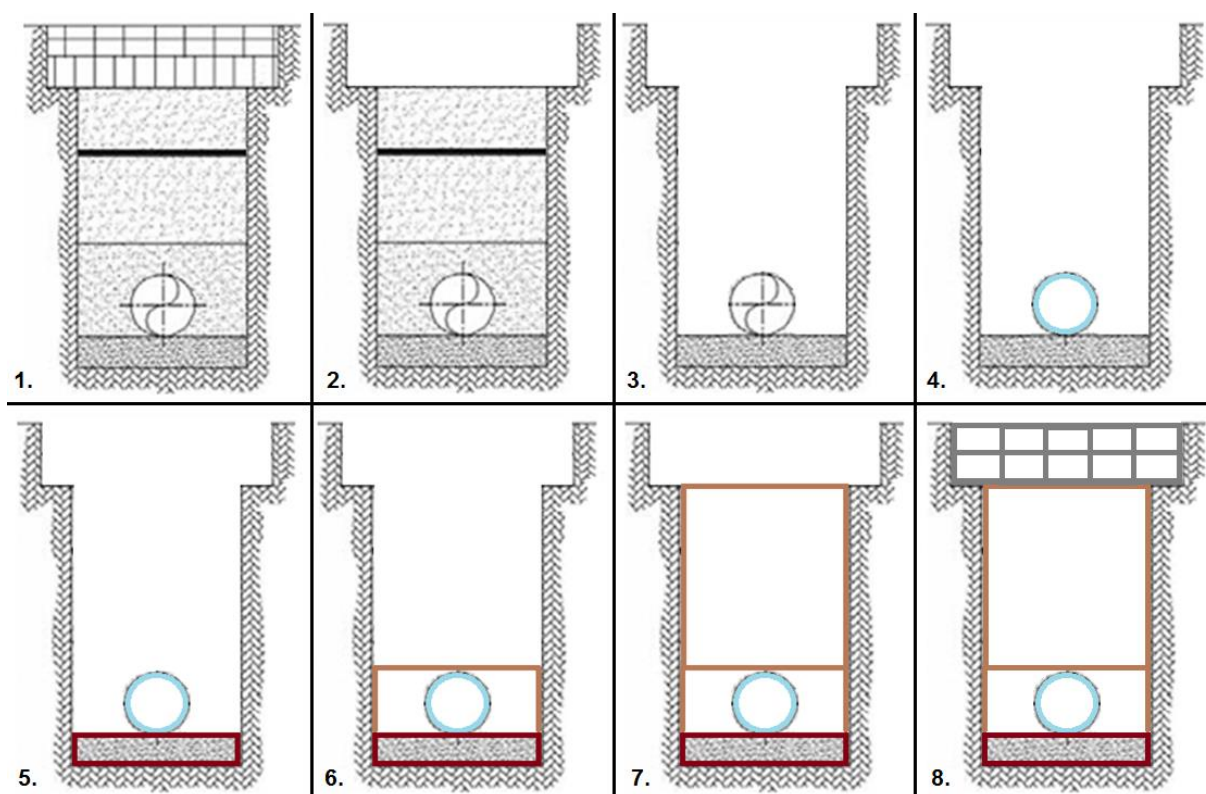


Figura 2.8 – Procedimento da reabilitação tradicional esquematizado por 8 passos

- 1) Ponto de partida;
- 2) Levantamento do pavimento superficial;
- 3) Levantamento dos terrenos acima e em redor da conduta a reabilitar;
- 4) Uma vez que a conduta está exposta, procede-se aos trabalhos de reparação;
- 5) Colocação de uma camada de assentamento fina em baixo da conduta, na largura da vala;
- 6) Reposição de terras na envolvente da conduta;
- 7) Reposição das restantes terras até ao topo da vala por várias camadas, de modo a compactar cada camada o suficiente para evitar deslocamentos, e tendo em atenção os parâmetros adequados ao terreno e à resistência do material da nova conduta para não existirem tensões de esmagamento após a consolidação total do terreno;
- 8) Por fim, dá-se a reposição do pavimento à superfície.

Apesar destas técnicas serem as mais antigas e as mais utilizadas, acarretam alguns inconvenientes:

- Abrangência de uma grande área de trabalhos, causando transtorno na zona urbana;
- Grande movimento de volumes de escavação e aterro;
- Necessidade de mobilização de muitos equipamentos;
- Possível interferência com construções que se encontrem próximas da conduta;
- Compactação das valas em condições favoráveis de resistência e respetivos ensaios;
- Reconstituição do pavimento original, que poderá até ser património nacional (como a calçada portuguesa);
- Processo demorado, que poderá demorar semanas;
- Contratação de muita mão-de-obra.

Pela interpretação de todos os aspetos referidos, pode concluir-se que a intervenção tradicional é pouco favorável, devido à sua construção poluente, inconveniente ao trânsito, demorada e exaustiva.

2.5.4 REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA

2.5.4.1 Aspetos Gerais

Com a crescente necessidade de reabilitação das redes de drenagem de águas residuais, fruto do envelhecimento das redes, antiguidade dos materiais e métodos utilizados, etc, vêm sendo desenvolvidas novas formas de reabilitação.

Em Inglaterra, há cerca de 30 anos, surgiu o interesse e motivação necessários para estudar um novo procedimento de reabilitação que procura evitar a habitual intervenção em vala aberta. Este processo é mais limpo e rápido, uma vez que o usual levantamento do pavimento acarreta elevados incómodos, como por exemplo a obstrução da circulação de trânsito automóvel e da circulação pedonal, afetando consequentemente a atividade comercial. Esta inovação tem vindo a tornar-se merecedora de grande expansão, contando já com vários quilómetros de aplicação em todo o mundo.

2.5.4.2 Procedimento

A reabilitação pelos novos procedimentos consiste no aproveitamento do espaço já criado pela tubagem existente para manusear os equipamentos no seu interior, a partir das extremidades do troço a reabilitar. A intervenção pode ocorrer através da aplicação de revestimentos interiores – técnicas não destrutivas; ou pela instalação de nova tubagem – técnicas destrutivas. O primeiro grupo aproveita a conduta existente, tanto para exercer funções hidráulicas como para funções estruturais. O segundo, utiliza as condutas existentes como um meio para inserir as novas condutas, e posteriormente são retiradas ou destruídas. As Figuras 2.9 e 2.10 representam o resultado da aplicação desses dois tipos de técnicas, respectivamente com aplicação de revestimento e substituição da conduta.



Figura 2.9 – Resultado da aplicação de uma técnica de reabilitação não destrutiva [49]



Figura 2.10 – Resultado da aplicação de uma técnica de reabilitação destrutiva [50]

Existe uma grande variedade de técnicas associadas a estes dois tipos de intervenção, que serão detalhadamente explicadas no capítulo 3.

2.5.4.3 Vantagens

A reabilitação sem abertura de vala beneficia de diversas vantagens devido ao seu processo ser mais simples e limpo, são exemplo delas:

- O movimento de terras aquando das novas técnicas reduz em grande escala, uma vez que estas permitem a abertura de apenas dois poços em cada extremidade do troço a reabilitar, ao contrário da tradicional abertura de uma vala de grande extensão;
- Esta redução do movimento de terras diminui também a área abrangida pelos trabalhos à superfície, isto é, a via pública não sente o transtorno causado pelos trabalhos que decorrem no subsolo e por isso, o tráfego não necessita de ser interrompido (salvo eventuais exceções indicadas no projeto);
- A nível ambiental, destaca-se a redução da libertação de poeiras devido ao menor levantamento de terras;
- A mão-de-obra necessária para realizar uma intervenção sem abertura de vala depende apenas do manuseamento dos equipamentos, pelo que o número de trabalhadores necessários à abertura de uma vala de grande extensão deixa de ser considerado;
- O tempo necessário à concretização destas técnicas reduz de meses para semanas em muitos casos;
- A redução da poluição sonora evidencia-se pela menor utilização de equipamentos de grande porte, como as escavadoras por exemplo;
- Relativamente à reabilitação tradicional, não se perde nem qualidade (no caso da aplicação de revestimentos até será mais indicado) nem se perde aplicabilidade a vários materiais de tubagem, pelo que a nível técnica não constitui problema.

Embora não existam estudos pormenorizados sobre o ganho (a percentagem de redução) das novas técnicas, como por exemplo a análise da poluição sonora e de libertação de poeiras, estes factores são evidentes pela facilidade de execução e pelo entendimento dos processos. A redução do custo de intervenção será analisada no caso de estudo mais adiante.

Nas imagens seguintes, Figuras 2.11 e 2.12, estão esboçados os dois procedimentos onde se pode verificar com mais clareza as vantagens da intervenção sem abertura de vala, no que respeita ao movimento de terras, redução de mão-de-obra e transtorno da via pública.



Figura 2.11 – Método de reabilitação com abertura de vala (ou tradicional)

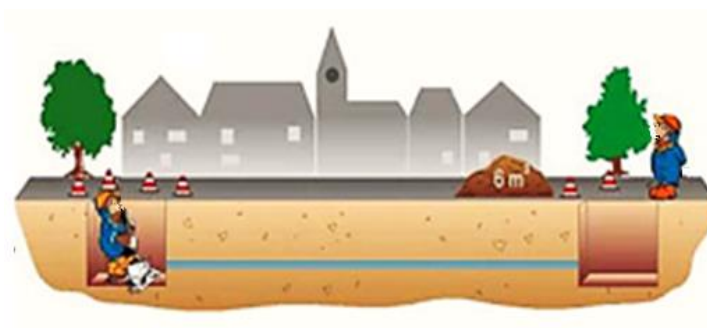


Figura 2.12 – Método de reabilitação sem abertura de vala (método recente)

3

TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA

3.1 ASPECTOS GERAIS

Neste capítulo serão explicadas com detalhe as técnicas de reabilitação sem abertura de vala mais utilizadas. É importante reforçar que estas técnicas começaram por surgir em Inglaterra e que têm vindo a ser desenvolvidas tanto no país de origem como a nível internacional. Esta expansão trouxe algumas discrepâncias dentro dos próprios procedimentos pelo que o presente capítulo terá como objectivo apresentar as principais técnicas em conformidade com a metodologia mais utilizada.

O Quadro 3.1 resume as diversas técnicas que serão abordadas neste capítulo e que estão divididas em três grupos:

- Trabalhos preparatórios – consistem na localização, limpeza e inspecção, que permitem o conhecimento pormenorizado do espaço a intervir antes de qualquer reabilitação. Por vezes, a intervenção sem abertura de vala poderá ser aplicada não com o objetivo de reabilitação, mas sim de limpeza, pelo que os trabalhos preparatórios serão o único procedimento a ser aplicado nestes casos;
- Técnicas não destrutivas - aproveitam a conduta existente e são por norma menos evasivas. Podem ser divididas em três subgrupos: reparação parcial, reparação total e inserção de nova conduta sem a remoção da conduta existente;
- Técnicas destrutivas – procedimento onde a utilização das condutas existentes serve apenas para conduzir a nova conduta. Estas técnicas subdividem-se em dois grupos: uma menos agressiva, que consiste na remoção da conduta existente; e outra mais evasiva que recorre à destruição da conduta existente.

Quadro 3.1 - Técnicas de reabilitação sem abertura de vala (Adaptado de [23])

Classe	Procedimento	Técnicas	
Trabalhos preparatórios	Localização das tubagens	-	
	Limpeza	Limpeza não agressiva	Enxaguamento
			Lavagem com ar
		Limpeza agressiva	Jato de água forte
			Raspagem
			Raspagem de arrasto
			Raspagem a pressão
		Polimento	Polimento por escovas
			Chapa de raspagem
	Inspeção vídeo	-	
Técnicas não destrutivas (Relining)	Reparação parcial das tubagens	Manta de fibras de vidro	
		Aplicação de resina epóxi	
	Reparação total das tubagens	Revestimento com argamassa de cimento	
		Revestimento com resina Epóxi	
		Cura térmica - Manga de inversão	
Mantêm as condutas antigas	Inserção de uma nova conduta	Diminuição do diâmetro	Molde para revestimento
		Ajuste perfeito ao diâmetro	Método simétrico
			Método de dobragem
			Método térmico
			Método mecânico
Técnicas destrutivas	Remoção da conduta existente	Cravação de tubagem alterada	
	Destruição da conduta existente	Os resíduos permanecem	Rebentamento de tubagens
			Fraccionamento de tubagens
		Remoção dos resíduos	Destruição de tubagens
			Fresagem de tubagens

3.2 SELECÇÃO DO MÉTODO

a) Conhecer o estado da infra-estrutura

Uma das tarefas mais exigentes em qualquer projeto de engenharia civil é a tomada de decisões. No caso da reabilitação, e no presente caso das novas técnicas, as grandes decisões passam, também, por definir o tempo e espaço da intervenção, isto é, deve responder-se às questões de onde e quando intervir. Uma forma de enfrentar esse desafio, tornando o processo de intervenção mais minucioso, é recolher toda a informação sobre o estado das infraestruturas, que poderá ser coletado de duas formas:

- Indiretamente – baseado na evolução histórica dos dados disponíveis, tais como:
 - Registos de falhas
 - Registos da manutenção
 - Reclamações de clientes
 - Testes do sistema
- Diretamente – baseado no uso de inspeções e testes para obter nova informação

b) Traçar objetivos

Depois de caracterizado o estado da rede e detetados os problemas e defeitos da tubagem, o estabelecimento dos objetivos da intervenção torna-se mais evidente (por exemplo a colmatação de fugas, o aumento da capacidade de transporte, etc).

c) Seleção do tipo de técnica – em função do objetivo

Segue-se o processo de selecção das técnicas a aplicar, cujo tipo de reabilitação a fazer depende da origem do problema estrutural. No caso de se tratar de um tipo de corrosão externa, a renovação baseada no revestimento interno não irá impedir uma maior degradação, por isso a solução é a completa renovação (por exemplo o revestimento, ou a substituição). Se o problema for a corrosão interna, mas a condição estrutural do tubo é ainda suficientemente boa no momento da renovação, então as técnicas parciais ou semi-estruturais são as mais apropriadas, como a aplicação de resina epóxi ou de manta de fibras de vidro.

d) Seleção da técnica – tendo em conta o funcionamento hidráulico

Outra questão fundamental diz respeito ao desempenho hidráulico. A entidade exploradora dos sistemas deve avaliar o provável impacto das diferentes opções de reabilitação no desempenho hidráulico da rede baseado nos modelos de cálculo existentes. O objetivo é determinar o mínimo diâmetro que vai de encontro com as necessidades de caudais, utilizando um coeficiente de rugosidade adequado para as diferentes opções.

A aplicação destes critérios permitirá reduzir o número de opções tecnicamente viáveis para uma ou mais tecnologias sem abertura de vala e ainda, se for o caso, o método tradicional de abertura de vala. Além dos parâmetros destacados, há que ter em conta a existência de fatores de decisão secundários [24], como por exemplo:

- Curvas verticais e horizontais - os processos diferem na capacidade de realizar curvaturas;
- Comprimento máximo de instalação - pode ser um factor em que o acesso à rede é restringido;

- Dimensão dos estaleiros de obra - o tamanho e o número de espaços requeridos para instalação das frentes de intervenção podem ser fatores preponderantes em situações urbanas congestionadas;
- Continuidade do Serviço - alguns processos permitem reestabelecer no mesmo dia os serviços, eliminando a necessidade de criar circulação alternativa ou fornecimento temporário de água;
- Padrão de limpeza - alguns processos dependem de um elevado padrão de limpeza e isso pode ser difícil de se garantir em algumas circunstâncias;
- Risco de danos decorrentes da limpeza – alguns processos, como o revestimento com a resina epóxi, requerem métodos de limpeza agressivos que podem danificar estruturalmente as condutas;
- Proximidade de outros serviços ou infra-estruturas - pode ser um problema na técnica de rebentamento, em que a cabeça de corte do equipamento pode danificar instalações na proximidade.

3.3 TRABALHOS PREPARATÓRIOS

Esta secção é dedicada aos procedimentos prévios a executar, para aplicar uma técnica de reabilitação sem abertura de vala. Como acontece com todas as operações com instalações enterradas, mesmo em vala aberta, conhecer o que se vai encontrar, é tão importante como a forma de que se irá intervir. Os novos métodos de intervenção necessitam sempre de trabalhos preparatórios. Estes possibilitam a identificação do problema existente e a sua correta localização, através de inspecção vídeo, para que posteriormente se possa decidir o método de reabilitação a usar.

De uma forma resumida, os procedimentos são normalmente os seguintes:

- Trabalhos locais: sondagens, rastreio e mapeamento, inspecção do interior das infraestruturas;
- Limpeza e acondicionamento das infraestruturas: limpeza a alta pressão, limpeza mecânica;
- Inspeção vídeo do colector para avaliação e localização do problema;
- Avaliação e tomada de decisão do método técnico-economicamente mais viável de intervenção.

3.3.1 LOCALIZAÇÃO DAS TUBAGENS

Não se pode realizar qualquer intervenção que seja sem se localizar as infra-estruturas a reabilitar. Uma das mais comuns fragilidades em toda a indústria com serviços enterrados, decorre dos cadastros existentes até à data não serem suficientes e não estarem actualizados, e por vezes, não corresponderem à realidade existente.

A grande variedade de serviços enterrados e o desenvolvimento das novas redes de telecomunicações originam um desafio ainda maior na reabilitação das infra-estruturas envelhecidas, uma vez que o espaço utilizado pelas condutas é partilhado subterraneamente com agrupamentos de cabos.

O ponto de partida para qualquer trabalho no local é possuir todos os cadastros das estruturas enterradas existentes. Estes irão apontar para a espectável posição dos pontos de acesso ou câmaras de visita que podem ser confirmadas ou corrigidas por visualização no terreno, Figura 3.1. Estas inspecções/pesquisas podem então ser utilizadas como forma de confirmação dos serviços existentes antes do início das principais obras. [23]



Figura 3.1 – Grupo de engenheiros a inspeccionar o local de trabalhos

3.3.2 LIMPEZA E ACONDICIONAMENTO DAS INFRA-ESTRUTURAS

Todas as intervenções de reabilitação necessitam de preparação prévia da parede interna da conduta existente, nomeadamente de limpeza. Esta acção melhora a eficácia da técnica de reabilitação, no que depende da aderência dos materiais à parede interna da conduta existente, e possibilita a introdução de uma nova conduta sem que haja danos na parede externa da mesma.

Este procedimento é feito a jacto de água de alta pressão, com a mangueira representada na Figura 3.2, com a sucção de resíduos e o isolamento do troço em intervenção, sendo para isso necessário:

- Tamponar o colector a montante;
- Notificar os proprietários dos edifícios cujos ramais prediais pertencem ao troço do colector a intervir;
- Criar um bypass através da bombagem das águas residuais para uma caixa de visita mais a jusante, ou para uma cisterna.

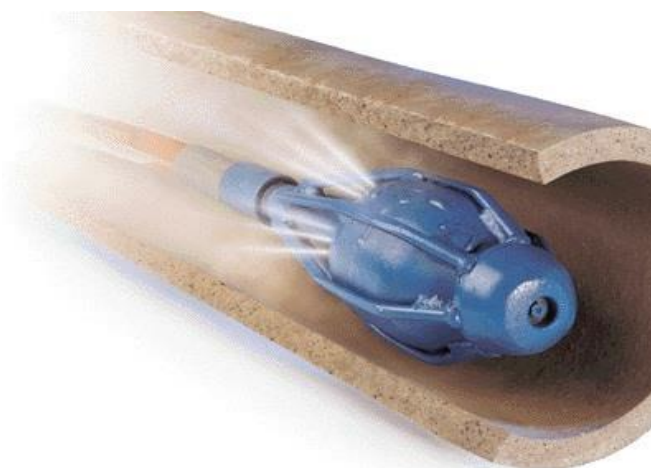


Figura 3.2 – Mangueira de alta pressão para limpeza das tubagens de água

A limpeza, ou seja a remoção de depósitos de materiais soltos e de incrustações nas paredes interiores das conduas, divide-se em limpeza agressiva, não agressiva e polimento, como indicado em 3.1. Estas técnicas são utilizadas tanto no âmbito da manutenção de conduas como na reabilitação das mesmas, podendo na prática adoptar-se por apenas um tipo, ou usando uma combinação destes. No caso de se optar por uma combinação de várias técnicas, o seu procedimento mais correcto será o uso de técnicas agressivas inicialmente, passando pelo polimento e por fim o uso de técnicas não agressivas.

3.3.3 INSPEÇÃO VÍDEO

A inspecção vídeo permite efectuar vistorias de manutenção e deteção de anomalias nos colectores. É através destas inspecções que é possível fazer um diagnóstico dos colectores a reabilitar, onde se identificam fissuras transversais e longitudinais, assim como desmoronamentos e entupimentos do colector. É também muito útil para a localização e catalogação exacta do posicionamento dos ramais afluentes.

Este procedimento de fiscalização designa-se CCTV, que significa circuito fechado televisivo (closed circuit television). O equipamento é constituído por uma pequena viatura (ver Figura 3.3), que percorre as tubagens, velhas ou novas, e é telecomandado por um técnico. A ferramenta informática regista todas as anomalias detetadas (deformações, fugas, conduas danificadas) através de vídeo, fazendo também o registo de inclinações em casos necessários.



Figura 3.3 - Robots de captação de vídeo utilizados no processo CCTV [25]

Ao ter acesso a uma espécie de visita guiada dentro de uma conduta, pode concluir-se acerca da necessidade ou não de reabilitação/substituição da mesma. No entanto, esta inspecção pode ser requerida após a execução da obra permitindo a confirmação dos resultados obtidos.

3.4 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS

Actualmente, as técnicas de reabilitação não destrutivas são mais comuns em países estrangeiros, sendo exemplo disso a Alemanha e a Espanha. Em Portugal, estes processos encontram-se ainda numa fase insipiente em que a informação é escassa e sofre de muitas lacunas. Um exemplo disso é a falta de nomenclatura comum às várias técnicas e a existência de disparidades no próprio processo de execução das mesmas. Os métodos de reabilitação existentes, que serão indicados de seguida, poderão por isso ser encontrados com designações diferentes numa outra fonte de informação.

Para uma melhor compreensão do leitor, as técnicas de reabilitação não destrutivas foram divididas em três grandes grupos:

- Reabilitação parcial das tubagens – Com a detecção de fissuras ou outras anomalias num local exacto, a intervenção mais vantajosa pode ser apenas pontual (parcial).
- Reparação total das tubagens – Uma vez decidida a reabilitação na extensão total da conduta, o método de revestimento permite, ainda assim, o uso da tubagem existente com funções estruturais e até hidráulicas. Para isso, a intervenção deverá ser, maioritariamente, requerida pelo estado interno da conduta e não pelas propriedades exteriores, que devem estar aceitáveis à continuação do seu emprego.
- Inserção de novas condutas – No caso da reabilitação total necessitar da substituição da conduta velha, far-se-á uma técnica onde se aproveita a conduta anterior como um túnel no qual se insere a nova conduta, e posteriormente é retirada (técnica não destrutiva) ou destruída (técnica destrutiva) a tubagem antiga.

3.4.1 REPARAÇÃO PARCIAL DE TUBAGENS

Com a identificação do problema existente e a sua correcta localização, é possível efectuar a reparação do colector sem abertura de vala. Esta intervenção permite uma redução significativa no custo de reparação, comparativamente com os métodos tradicionais, e é de fácil e rápida aplicação. Uma vez que esta reparação parcial está enquadrada nas técnicas sem abertura de vala, é de notar que de facto, o acesso ao troço é feito pelas caixas de visita, evitando o levantamento do passeio.

Aplicações da reparação parcial:

- Reparação de fissuras, roturas;
- Impermeabilização de juntas de ligação;
- Reparação de infiltração ou fugas de águas ou fluentes.

Vantagens:

- Não é necessária a abertura de vala;
- Tempo de reparação reduzidos;
- Custo de reparação reduzidos.

3.4.1.1 Manta de fibras de vidro

Este método consiste em introduzir e curar um troço de tubo com um material compósito de fibras de vidro, sobre a zona danificada. Pretende-se no final da sua aplicação, que a anomalia seja tapada pelo material de fibras de vidro, impedindo a expansão da anomalia e os efeitos pejorativos que ela poderia trazer à conduta.

Previamente à aplicação da reparação, a tubagem deverá ser convenientemente limpa e inspeccionada, pelos métodos referidos nas alíneas anteriores.

A manta de fibra de vidro é então cortada na medida prevista para o diâmetro a reparar e impregnada com resina apropriada, seleccionada em função da natureza mais ou menos agressiva dos caudais. De seguida, a manta é colocada em torno de um dispositivo insuflável, como está representado no exemplo na Figura 3.4, que o transportará até à zona do defeito. Para este procedimento, é conveniente usar uma câmara de inspecção vídeo para obter a posição correcta.



Figura 3.4 – Procedimento de aplicação do equipamento pneumático envolto numa manta de fibra de vidro

Colocado sobre o defeito, o dispositivo insuflável é expandido por acção de ar comprimido, pressionando o material contra as paredes da tubagem. Após a cura de 45 min, é retirado o ar ao dispositivo, deixando sobre a zona danificada a sobreposição de um troço de tubo de material compósito.

3.4.1.2 Aplicação de resina epóxi

O objectivo deste procedimento é semelhante ao da técnica anterior. Pretende colocar uma camada de resina que adira à superfície interna do tubo, formando um revestimento que impede a penetração da água e subsequente corrosão na anomalia.

Os revestimentos curam, por norma, num intervalo de tempo reduzido e são de espessura fina, causando portanto uma redução do diâmetro interno pouco relevante. [26]

Neste procedimento, a ferramenta usada pelos técnicos designa-se por balão de reparação. Este é revestido com uma manga têxtil, impregnada em resina epóxi, e colocado no local a reparar. Quando posicionado, é insuflado até haver contacto do seu tecido com as paredes da conduta, permanecendo insuflado até ocorrer a cura da resina. Por fim, o balão é esvaziado e retirado, ficando a zona de intervenção revestida sem atrito (com resina), o que melhora o escoamento e proporciona estanquidade à tubagem.

Na Figura 3.5 encontram-se duas ilustrações do processo de reabilitação parcial descrito, nomeadamente a intervenção dos técnicos e o equipamento utilizado.



Figura 3.5 - (esquerda) técnicos responsáveis pela impregnação do balão embebido em resina, na conduta; (direita) balões de reparação com diversos diâmetros, a aplicar em condutas igualmente variáveis. [26]

3.4.2 REPARAÇÃO TOTAL DAS TUBAGENS

Relativamente às técnicas de reparação longitudinal, estas consistem no revestimento interior da conduta existente, através de um dispositivo próprio que projecta o material de revestimento contra as paredes interiores da conduta a reabilitar.

Por norma, esta prática é antecedida pelas técnicas de limpeza, para que a aderência do material a projectar seja satisfatória. Há dois tipos de revestimentos longitudinais: o revestimento com argamassa de cimento (*cement mortar lining*) e com resina epóxi (*epoxy resin lining*).

O procedimento inicial em qualquer das técnicas apresentadas, e na falta de pontos estratégicos já existentes, consiste na abertura de poços de acesso nas extremidades da conduta a reabilitar, tipicamente em zonas de mudança de direcção ou de existência de acessórios. Dependendo da técnica, há também uma limitação de comprimento máximo, ou seja, em condutas de grande desenvolvimento sem nenhuma zona típica anteriormente referida, essa reabilitação tem de se realizar por troços.

3.4.2.1 Revestimento com argamassa de cimento

A aplicação de uma argamassa de cimento como revestimento é um método comum e relativamente económico de renovação de redes de água. Os equipamentos e a equipa de técnicos são enviados para o local, preparados para a intervenção. O procedimento decorre com o revestimento de secções subterrâneas, em tubos com mais de 70 cm de diâmetro, que são revestidos pelo chamado método *man-entry*, ou seja, o operador da máquina desloca-se ao longo do tubo com a máquina de revestimento, manuseando-a. Primeiramente, a argamassa de cimento é pulverizada contra as paredes da tubagem. É de referir a importância do controlo da velocidade de progressão do equipamento para produzir uma espessura constante da argamassa. De seguida, a espessura de cimento é alisada por meio da rotação de espátulas, como mostra a Figura 3.6. Se as condutas forem inferiores a 70 cm, a máquina de revestimento percorre a conduta sozinha, comandada à distância pelos técnicos.

As vantagens técnicas desta aplicação verificam-se pelo facto da argamassa de cimento apresentar uma superfície interior de baixa rugosidade, favorecendo o escoamento, diminuindo as perdas de carga e garantindo ao longo do tempo os desempenhos hidráulicos.



Figura 3.6 - Máquina para aplicar o revestimento de argamassa de cimento nas paredes internas da conduta, manuseada por um técnico. [27]

O revestimento interior em cimento é um revestimento ativo, ou seja, não atua como uma simples barreira, mas participa quimicamente na sua proteção. Decorrente do enchimento, a água embebe pouco a pouco a argamassa de cimento e enriquece-se em elementos alcalinos, tornando-se assim não corrosiva ao chegar perto da parede metálica, mais adiante. Embora retarde o processo de deterioração da conduta existente, o revestimento não desempenha qualquer função estrutural, por isso esta técnica não é apropriada para colmatação de fugas, ou em situações de redução significativa da espessura das paredes devido à corrosão. Este material possui uma boa resistência à abrasão, o que permite às tubagens serem adaptadas ao transporte de águas brutas carregadas de partículas abrasivas. [28]

3.4.2.2 Revestimento com resina epóxi

A técnica do revestimento com resina epóxi, ao contrário da referida em 3.4.1.2, é usada ao longo de toda a conduta. Os dois procedimentos diferem pelo método de aplicação. Nesta técnica, a resina é aplicada em conjunto com um endurecedor através de um equipamento de pulverização, que normalmente tem um bico que roda a alta velocidade. Estes materiais, na maioria dos sistemas, são alimentados através de mangueiras independentes e são combinados pelo misturador estático posicionado atrás do bico pulverizador.

A espessura do revestimento é definida pela vazão e velocidade de progressão do equipamento. Idealmente, o tempo de cura deve ser tão breve quanto possível para minimizar o período de interrupção do serviço, e também para reduzir o risco de contaminação da resina antes da cura. Ao contrário do revestimento com argamassa de cimento, a resina não é regularizada após a pulverização, por isso a qualidade do acabamento da superfície depende da aplicação técnica e das propriedades do material.

Utilizar a resina Epóxi em vez da argamassa de cimento tem várias vantagens, das quais se salientam a aplicação rápida, maior durabilidade e a superfície resultante deste método é substancialmente mais lisa. No entanto, qualquer defeito no revestimento pode permitir o início da corrosão e esvanecer os efeitos pretendidos com esta reabilitação, pois neste caso não existe o efeito da alcalinidade que inibe a corrosão. [29]

3.4.2.3 Cura térmica - Manga de inversão

A reparação da conduta pela técnica de manga de inversão permite renovar de forma integral redes de colectores e emissários de águas residuais ou pluviais. Pode ser aplicada a situações onde seja necessário repor a estanqueidade das tubagens, melhorar o comportamento hidráulico, em diversos materiais, com diâmetros entre DN60 e DN300 e comprimentos de reabilitação variáveis entre 1 e 100 m, a tubagens verticais, a redes com mudanças de direcção acentuadas, entre outros. Na Figura 3.7, encontra-se o exemplo de uma manga de poliéster, com um grande diâmetro.



Figura 3.7 - Manga de poliéster com um grande diâmetro, usada na técnica de manga de inversão [30]

O sistema utiliza uma manga de fibras de feltro impregnada em resina, cujo seu revestimento exterior é de polietileno ou de poliuretano, mas que no fim da instalação este passará a ser o revestimento interior.

O processo começa com a construção de uma estrutura em forma de reservatório na extremidade do troço a intervir, com o objectivo de, ao ser cheia com água, alcançar a pressão necessária à inversão da manga. No entanto, se o sistema estiver localizado a uma grande profundidade, podem ser utilizados equipamentos que fornecem a pressão.

De seguida, é instalado um tubo guia que conduz a manga desde a superfície até ao início da tubagem a reabilitar, como se pode verificar na Figura 3.8. A manga invertida é fixada manualmente na entrada do tubo guia e ligada ao veículo de apoio. Juntamente com esta, é inserida uma mangueira que acompanhará a manga até à sua posição final.

A água é introduzida na manga com uma pressão suficiente à inversão através da tubagem existente, comprimindo a manga contra as paredes e garantindo assim o perfeito ajuste às formas existentes. Logo que a inversão esteja completa, acciona-se a circulação de água quente proveniente de uma caldeira e vazada pela mangueira que acompanha toda a manga (ver Figura 3.9). A taxa de calor é controlada de acordo com o exigido pelo regime de cura da resina, sendo as temperaturas monitorizadas em vários pontos da superfície da manga.

Após a cura da resina, a água é arrefecida gradualmente até que possa ser retirada. As extremidades do novo tubo são cortadas, deixando apenas alguns centímetros nas extremidades que garantem uma melhor estanqueidade. [24]

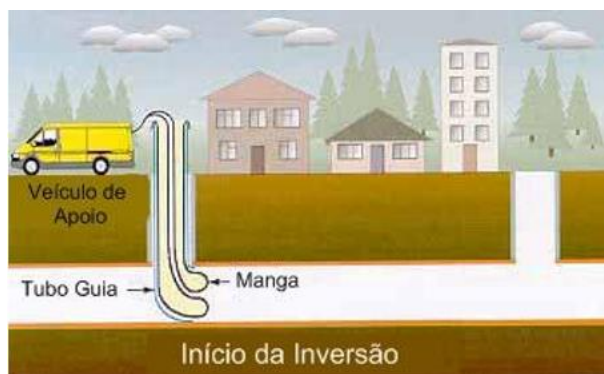


Figura 3.8 - Início da técnica de Manga de Inversão: construção do poço e aplicação do tubo guia e da manga

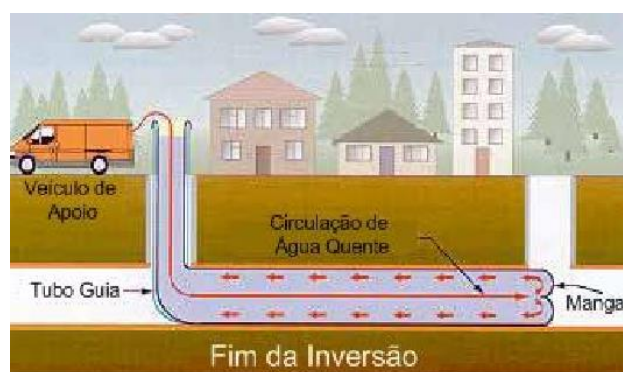


Figura 3.9 - Circulação de água quente no interior da manga invertida, de modo a ocorrer a cura da resina

Os tambores, ou inversores, são o equipamento usado na instalação de manga continua dentro da conduta. Consistem num recinto fechado pressurizado, dotado de uma saída pela qual é exercida uma força de empurre sobre as paredes da manga, fazendo que a mesma se movimente ao longo da conduta. Existem diversos modelos em função do alcance de diâmetro das reabilitações de condutas e das restrições de acesso, na Figura 3.10, apresentam-se dois deles.



Figura 3.10 - Dois modelos diferentes de tambores, ou inversores, usados na técnica de manga de inversão [30]

Embora tradicionalmente se utilize a água quente para elevar a temperatura e causar a cura da resina, algumas empresas introduziram um sistema que combina a inversão por ar comprimido e a elevação da temperatura através de vapor.

A grande vantagem deste sistema é que o revestimento não retrai após cura. Isto previne o potencial de infiltração entre as paredes da tubagem existente e o novo revestimento. Para além disso, o trabalho de vedação das derivações é reduzido.

3.4.3 INTRODUÇÃO DE UMA NOVA CONDUTA

Quando se pretende introduzir uma conduta nova dentro de uma antiga, para além da limpeza da conduta existente que é de elevada importância para não provocar danos na conduta nova, é necessário

ter conhecimento da possibilidade de diminuição de diâmetro. Esta problemática pode ser solucionada de quatro formas:

- Diminuição do diâmetro (poderá ir até 10%): através da aplicação simples de uma tubagem nova no interior da existente, designada por técnica de entubamento (*sliplining*);
- Manter o diâmetro da conduta o mais similar possível: introdução de uma conduta nova com a redução diametral provisória, por redução simétrica (um dos três processos da técnica de ajuste perfeito ou *close-fit lining*);
- Manter o diâmetro da conduta o mais similar possível: introdução de uma conduta nova com a secção deformada temporariamente (outro processo da técnica de ajuste perfeito ou *close-fit lining*);
- Manter o diâmetro da conduta o mais similar possível: introdução de uma conduta nova com a secção reduzida temporariamente, sensível ao calor que posteriormente a dilatará (terceiro processo da técnica de ajuste perfeito ou *close-fit lining*)

Em qualquer uma destas técnicas, são abertos poços de acesso nas extremidades da conduta a reabilitar, normalmente em zonas de mudança de direcção ou de existência de acessórios. As condutas de grande desenvolvimento sem nenhuma zona anteriormente referida, devem ser reabilitadas por troços para evitar grandes extensões de intervenção.

3.4.3.1 Entubamento (*Sliplining*)

Esta é possivelmente, a técnica mais simples de renovação de tubagens em redes que não permitem a entrada humana. O seu procedimento apenas implica puxar ou empurrar uma tubagem nova ao longo da existente, como ilustra a Figura 3.11.

O material mais comum a ser utilizado para a nova tubagem é o polietileno, fundamentado pela sua compatibilidade do contacto com a água, pela sua resistência à abrasão e pela sua flexibilidade, que lhe permite descrever curvaturas durante a instalação. Também podem ser utilizadas tubagens de paredes delgadas (não estruturais) quando a solidarização com a tubagem existente garantir a resistência necessária, no entanto esta opção dificilmente garante que todo o espaço anelar seja preenchido, e por isso tem uma aplicação muito limitada. [24]

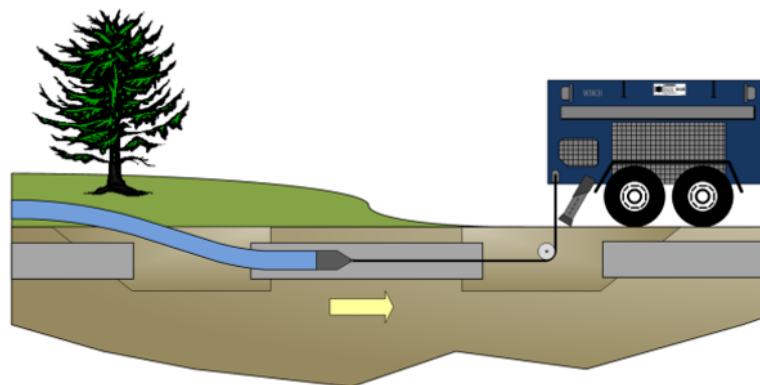


Figura 3.11 - Representação da tubagem a ser puxada por um guincho, no processo de entubamento

A operação mais delicada neste sistema é o preenchimento do espaço anelar entre as tubagens. Geralmente, é aplicada uma mistura entre bentonite e cimento para colmatar o espaço vazio resultante, realizado após instalação do novo tubo. A injeção da argamassa tem de ser cuidada, para que esta não crie pressões excessivas que possam deformar o novo tubo e reduzir a secção de escoamento. A Figura 3.12 representa o processo, nomeadamente: a tubagem antiga a ser destruída, a tubagem nova (interior, a negro), o cone na extremidade pelo qual é puxado o novo material e a argamassa de cimento na extremidade. [31]

Em todos os casos, as novas tubagens devem ser concebidas para resistirem não só às pressões internas e às solicitações externas, mas também às forças de tracção aquando da instalação, e à pressão gerada pelo material de enchimento do espaço anelar.



Figura 3.12 – Pormenor da tubagem no fim de um processo de entubamento

3.4.3.2 Ajuste Perfeito (*close-fit lining*)

Esta é uma solução idêntica à descrita na secção 3.4.3.1, com a melhoria de ajustar a nova tubagem quase perfeitamente à existente. Contudo, o entubamento continua a ser uma opção bastante favorável em diversos casos.

Este processo envolve a redução temporária do diâmetro da tubagem nova, de modo a que possa ser introduzido na rede existente e pressurizado posteriormente para recuperar as dimensões originais. O processo final de expansão pode ser subdividido em sistemas que funcionam com base num esforço de tracção ou com base num esforço de compressão, dependendo de qual a fonte utilizada para deformar a tubagem.

Nem todos os materiais permitem esta técnica, pelo que se deverá ter em atenção para escolher um mais deformável. Deve permitir a desfiguração inicial e aceitar o posterior regresso à sua forma original, sem imperfeições permanentes. Devido às limitações na redução dimensional que pode ser conseguida, esta técnica é mais adequada para redes sob pressão do que para redes de drenagem com irregularidades dimensionais. [32] [31]

a) Método Simétrico

O método simétrico, da técnica de ajuste perfeito, é uma das soluções possíveis para reduzir o diâmetro da conduta nova. Para isso, faz passar a nova tubagem numa prensa deslocando-a nos dois sentidos, que pela passagem nos rolos sucessivos reduz o seu diâmetro.

Em sistemas baseados no esforço de tracção, a tubagem é puxada da prensa directamente para a tubagem existente. A redução do diâmetro é mantida através da tensão criada pelo sistema de tracção. Assim que esteja posicionado, a tubagem é libertada do guincho permitindo que esta aumente de dimensão até ao seu diâmetro original ou até ficar ajustada com a tubagem existente.

b) Método de Dobragem

Este sistema consiste na dobragem das tubagens cilíndricas em forma de “C” ou “U” (Figura 3.13), para que possam ser instaladas nas tubagens existentes. As tubagens que permitem a sua dobragem estão disponíveis para os dois tipos de escoamento, em que, o polietileno é aplicado em sistemas sob pressão e o PVC em sistemas com escoamento em superfície livre.

Em alguns sistemas, a tubagem é dobrada em fábrica e fornecida em bobinas no local dos trabalhos, com diâmetros disponíveis até DN 450. Outros sistemas, permitem a dobragem das tubagens em polietileno *in situ* com gamas de diâmetro até DN 1600. [24]



Figura 3.13 - Dobragem da nova conduta em forma de “U” (do lado esquerdo); conduta ajustada aquando do término do procedimento (do lado direito)

Antes da sua introdução, as tubagens de PVC são aquecidas para aumentar a flexibilidade e, uma vez instaladas, são aquecidas internamente de forma a criar uma temperatura uniforme ao longo do material. Estas tubagens em PVC estão disponíveis numa gama de diâmetros que variam entre DN 100 e DN 350, e são feitas de um tipo de PVC modificado que permite a dobragem e a posterior reversão.

c) Método Térmico

O material mais comum ao método simétrico é a tubagem de polietileno. Nos últimos anos, os desenvolvimentos da técnica introduziram o PVC para sistemas sob pressão, com um diâmetro externo de 10 a 20% menor do que o diâmetro interior da tubagem existente. Após a sua inserção, o tubo em PVC é expandido por calor e pressão até se ajustar. Durante o processo de expansão, dá-se uma reformulação da orientação molecular que aumenta a capacidade resistente da nova tubagem.

Esta técnica é apropriada para aplicar numa completa renovação de um sistema sob pressão, mas também se adequa à colocação de revestimentos não-estruturais de paredes delgadas, para a protecção contra a corrosão e colmatação de fugas. Em geral, a gama de aplicação varia entre DN 100 e DN 600, permitindo descrever ligeiras curvas.

d) Método Mecânico

Como alternativa à tubagem previamente dobrada em fábrica, existe um sistema que realiza a dobragem *in situ* em tubagens de paredes delgadas, puxadas ao longo do equipamento, que molda a forma desejada. Esta técnica utiliza tubagens de polietileno *standart*, que é introduzido na tubagem existente após a passagem num molde com a forma de “C” ou “U”. Para que a forma se conserve até que esteja instalado, a tubagem é amarrada nas extremidades com uma cintas, que são retiradas para que se revertam as dimensões. É possível instalar tubagens com comprimentos até 1000 m.

3.5 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DESTRUTIVAS

Contrariamente às técnicas de reabilitação não destrutivas, do artigo 3.4, este tipo de procedimento elimina a tubagem existente para dar entrada à nova tubagem. A intervenção menos agressiva, designada por “remoção da conduta existente”, consiste na retirada por arrasto da conduta antiga mantendo a nova no local. A intervenção mais definitiva “destruição da conduta existente”, tal como o nome indica, desfaz ou destrói a conduta antiga.

3.5.1 REMOÇÃO DA CONDUTA EXISTENTE

No sistema de substituição de tubagens, denominado “cravação de tubagem alterada”, a infra-estrutura existente é removida integralmente sem sofrer qualquer destruição propositada. Esta é arrastada até aos locais de acesso onde pode ser destruída, ou simplesmente recolhida.

Estes processos são aplicáveis a tubagens com capacidade de resistir aos impulsos de tracção e compressão. Por norma, as secções a substituir são de comprimentos reduzidos, evitando que se gerem forças de atrito tais que impeçam a retirada da tubagem.

A cravação decorre por troços de tubagem, que são empurrados linearmente de modo a deslizarem sobre uma plataforma ao nível da tubagem existente, que fará com que a antiga conduta seja impelida. Em simultâneo, o material antigo é puxado por um sistema de tracção, fazendo a combinação destes dois efeitos com que a conduta existente seja removida até um local acessível.

No final, devem ser remendadas as juntas das condutas modulares, para impedir as fugas e as infiltrações, entre outros inconvenientes derivados de uma junta mal concebida.

3.5.2 DESTRUIÇÃO DA CONDUTA EXISTENTE

O processo de destruição é um processo de renovação que, por oposição aos processos de reabilitação, não requer a manutenção de qualquer das características hidráulicas nem mecânicas da tubagem a renovar. A tubagem a reabilitar pode inclusivamente já ter perdido a sua forma base e estar em colapso. Aplica-se a tubagens colapsadas ou que se encontrem em pré-colapso, isto é, sempre que a forma se encontrar perdida mas não totalmente colapsada, impedindo a utilização do processo de encamisamento contínuo ou outros procedimentos que dependam da manutenção da forma existente.

3.5.2.1 Rebentamento de tubagens

O rebentamento de tubagens está a tornar-se uma das tecnologias mais aplicadas na substituição dos antigos colectores de drenagem, sendo também aplicada em casos de subdimensionamento. Em função

do tipo de solos envolvente e da profundidade a que o coletor existente está instalado, é possível aumentar a secção hidráulica até 20% do diâmetro interno. As operações típicas de rebentamento de redes de drenagem situam-se numa gama de diâmetros entre DN60 a DN600, com polietileno convencional, ou entre DN60 e DN300, com tubagens modulares.

O material da tubagem existente, que será destruída, deve ser passível de ser rebentado. Por isso, esta técnica é aplicável em condutas com materiais mais frágeis como o ferro fundido, o fibrocimento, o grés-cerâmico ou alguns plásticos. Outros materiais com maior rigidez ou ductilidade, como é o caso do aço ou do ferro fundido dúctil, têm de ser substituídos recorrendo a outro método, como por exemplo o fraccionamento das tubagens, que será abordado de seguida.

A técnica do rebentamento de tubagens consiste em destruir a tubagem existente, fragmentando-a em pequenos pedaços e compactando esses fragmentos contra os solos envolventes. Por sua vez, também os solos são compactados para criar volume disponível para a introdução de uma nova tubagem. De seguida será descrita a técnica com mais pormenor, subdividindo-a em três métodos de rebentamento.

a) Rebentamento estático

No sistema de rebentamento estático, a força para quebrar a tubagem existente é apenas garantida por tracção. Este procedimento é constituído por varas ou por um cabo de aço no interior da conduta existente, colocadas desde o início até ao local definido como ponto de chegada, como representado na Figura 3.14. Estas varas, ou o cabo de aço, terão a função de carril para o equipamento com cabeça de expansão, munido com lâminas de rebentamento, que promoverá a destruição da tubagem existente ao ser puxado. Este conjunto, responsável pelo rebentamento e que será inserido na tubagem.

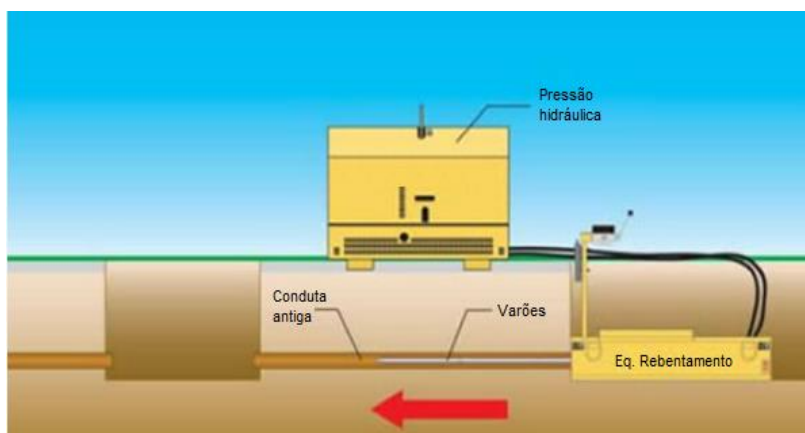


Figura 3.14 - 1ª fase da técnica de rebentamento da tubagem: implementação de varas ou de um cabo de aço no interior da conduta existente [33]

A esta cabeça de expansão é agrupada uma cabeça de arrastamento, que é solidarizada à tubagem nova para substituir a existente à medida que é puxada (ver Figura 3.15). A força de tracção aplicada no rebentamento é significativa, de forma a garantir que se rebente a tubagem existente e se crie espaço para instalação do novo tubo. Alcançando o fosso de chegada, retiram-se os equipamentos e refaz-se as caixas ou interligam-se as condutas por sistema de juntas, soldadura topo a topo ou outro, podendo-se então colocar a rede em serviço.

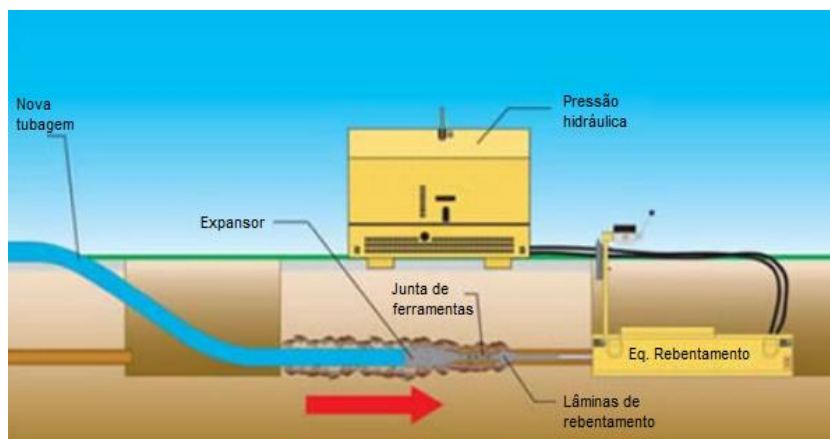


Figura 3.15 - 2ª fase da técnica de rebentamento da tubagem: inserção dos equipamentos na tubagem antiga e destruição da mesma [33]

b) Rebentamento pneumático, ou dinâmico

Nesta técnica, a cabeça de rebentamento é um martelo pneumático em forma de cone. Este desloca-se impulsionado por ar comprimido ao longo da tubagem, diferindo entre 180 a 580 pancadas por minuto.

A acção precursora da cabeça é semelhante ao martelar um prego numa parede, onde cada impacto empurra o prego uma pequena distância para dentro da parede. De forma semelhante, a cabeça de rebentamento cria continuamente pequenas fracturas que despedaçam a tubagem existente. A acção de percussão é combinada com a tracção do guincho, através de um cabo de aço que é inserido ao longo da conduta, ligado ao topo da cabeça de rebentamento. Esta força mantém a cabeça de rebentamento pressionada contra a parede da tubagem existente, e arrasta a nova tubagem juntamente com a cabeça.

O grande inconveniente deste método de rebentamento é a vibração e o ruído causados no ambiente vizinho.

c) Rebentamento hidráulico

O sistema de rebentamento por activação hidráulica é semelhante ao estático, com a diferença que este utiliza uma cabeça de rebentamento com maxilas que abrem e fecham sob activação hidráulica. Esta intervenção apresenta como grande vantagem, não causar danos em infra-estruturas na sua vizinhança.

Nesta técnica, a conduta existente é rebentada pela expansão da cabeça, sendo de seguida a tubagem nova empurrada pelo sistema hidráulico enquanto a cabeça é traccionada por um tirante que garante a direcionalidade da progressão. O processo é repetido, acrescentando novos troços de tubagem e perfazer o comprimento pretendido. Embora seja possível soldar tubagens em polietileno topo a topo, criando tubagens contínuas de comprimentos consideráveis, o usual neste tipo de técnica é utilizar-se pequenos troços de tubos em Polietileno ligados por articulações de parafusos, que permitem a sua união dentro das câmaras existentes.

3.5.2.2 Fraccionamento das tubagens

Esta técnica é utilizada para destruir tubagens de materiais não frágeis, tais como o aço, o PVC, o polietileno, o aço inoxidável ou o ferro fundido dúctil. O sistema é semelhante ao do rebentamento estático, diferindo o meio de destruição da tubagem. Neste processo utiliza-se um “divisor” em detrimento da cabeça de rebentamento. O “divisor” corta a parede da tubagem ao longo da linha da soleira, e expande-a contra os solos circundantes. Tal como no rebentamento, o divisor é puxado ao longo da tubagem por meio de um cabo em aço ou por um conjunto de varas.

A nova tubagem é protegida e ligada ao expansor, sendo esta instalada simultaneamente com o corte da tubagem. Após a passagem do divisor, o remanescente da tubagem existente serve como um forro para a nova conduta.

3.5.2.3 Destruição das tubagens

Neste sistema, a tubagem existente é esmagada e removida ao longo da nova conduta por meio de um sistema de rotação. A nova tubagem é instalada em simultâneo com a progressão do equipamento. Esta pode seguir o alinhamento existente, bem como corrigir ou mudar a sua trajectória se necessário. O equipamento é orientado à distância com um sistema a laser que controla a direcção de progressão. O equipamento está preparado para destruir a maioria do tipo de material que encontre na sua trajectória, quer seja conduta existente ou terreno envolvente, bem como, para permitir um aumento de dimensão da nova conduta.

O sistema é constituído pela cabeça de corte e por um componente blindado de protecção. A cabeça de corte possui dentes de corte e roletes que destroem a tubagem existente, e lâminas de corte junto à blindagem que cortam o solo, se necessário, no tamanho da tubagem a instalar. A blindagem protege o sistema hidráulico que confere o movimento de rotação e translação ao equipamento. Alguns equipamentos também actuam com o movimento de precursão, que auxilia e potencializa a destruição das tubagens.

3.5.2.4 Fresagem das tubagens

Este método é constituído por uma broca piloto, inserida na tubagem existente. O dispositivo de fresagem é ligado à broca e traccionado juntamente com a nova tubagem ao longo da existente no sentido inverso ao da inserção. O dispositivo de fresagem possui dentes de corte que trituram o material. Os detritos das tubagens, bem como o material resultante de um possível aumento de tamanho, são transportados juntamente com o fluído da perfuração até aos pontos de acesso, onde são recolhidos por bombagem ou vácuo.

3.6 TÉCNICAS DISPONÍVEIS NA EcoREFERÊNCIA, S.A.

A disponibilidade de cada entidade perante a realização de diferentes processos de reabilitação passa pela competência da mão-de-obra, a capacidade financeira e os recursos/equipamentos aos quais tem acesso. Isto é, dentro de todas as técnicas que foram destacadas anteriormente, as empresas com este tipo de ação não dispõem necessariamente de todos estes procedimentos.

A EcoReferência, S.A. adquiriu equipamento e conhecimento ao longo dos últimos anos, que actualmente, lhe confere competência para realizar alguns destes procedimentos. De modo a dar ênfase

ao trabalho desta entidade que colaborou no desenvolvimento do presente trabalho, será de seguida destacada a oferta de técnicas desta empresa, descrevendo os seus procedimentos de acordo com as próprias fichas de trabalhos analisadas. [34]

3.6.1 INSPECÇÃO VÍDEO

O sistema utilizado é o IBAK MODULAR 1 que consiste num conjunto de uma câmara de vídeo ORPHEUS encaixada num tractor KRA75. A cabeça da câmara é rotativa e em panorâmica, conferindo-lhe um maior ângulo de inspecção dentro da tubagem. A ORPHEUS tem ainda a particularidade de ter um emissor de localização integrado que permite, se necessária, a informação da posição exacta da câmara. O tractor está dotado de um sistema que automaticamente o desvia de obstáculos evitando o seu capotamento, sendo ele a peça fundamental que garante a tração na superfície das tubagens. O conjunto contém ainda um sistema de iluminação LED, um enrolador motorizado KW305 e uma unidade de controlo BE3 instalada no veículo de inspecção.

Este sistema está preparado para a inspecção de tubagens com diâmetros que vão desde o DN150 até ao DN1600, bem como às caixas de visita correspondentes. Antes da sua utilização, deve ser feita uma ventilação e limpeza do troço, seguidas então da referida inspecção vídeo, medição de inclinações, tratamento dos dados recolhidos (deformações, fugas, fissuras, deslocamentos, etc) e finalmente, a entrega do relatório.



Figura 3.16 – Robot camara de vídeo IBAK MODULAR 1 [22]

3.6.2 LIMPEZA

3.6.2.1 Desinfecção Bacteriológica de Condutas

O procedimento de desinfecção consiste na aplicação controlada do produto ALBILEX® SUPER-des, cujo princípio activo é o peróxido de hidrogénio. Primeiramente, a conduta é preparada com uma lavagem feita em dois momentos distintos: inicialmente com um caudal de água simples, com velocidade entre 0,05 m/s e 0,1 m/s; seguido de uma intensificação na sua velocidade para valores superiores a 1 m/s.

A aplicação do produto faz-se durante o enchimento da conduta, onde à água potável se adiciona o produto através de uma bomba doseadora ou através da inclusão da solução desinfectante dentro dos depósitos de água a montante.

Por fim, o procedimento é testado com fitas indicadoras que registam a concentração de ALBILEX® SUPER-des na tubagem. Esta verificação deverá ser realizada logo após o término da aplicação do desinfectante, onde o valor de concentração deverá registar 100 mg/litro, e ao fim de 12 horas, cujo valor registado deverá baixar para 50 mg/litro. Uma vez verificadas estas condições, a conduta deverá ser posta em serviço imediatamente.

3.6.2.2 Limpeza e desinfecção de reservatório

A limpeza de reservatório começa com um jacto de água forte, à pressão da rede, removendo sedimentos grosseiros e areias, sendo ainda necessária uma última aguada por toda a superfície do reservatório, incluindo tetos.

A desinfecção das superfícies surge como uma lavagem com água abundante, injectada com o produto ALBILEX SUPER-des através de uma bomba doseadora. Posteriormente é verificada a presença da solução remanescente nas superfícies, aplicando a fita indicadora que deverá apresentar uma concentração de 50 mg/litro de produto. O procedimento termina com uma aguada de água potável e a superfície desinfectada deve imediatamente ser posta em serviço.

3.6.2.3 Fresagem de juntas com robot

Antes de se dar início à técnica de fresagem, são realizados trabalhos preparatórios no troço a intervir. Realiza-se então a limpeza, com um camião de impulsão e sucção, a inspecção vídeo CCTV e o reconhecimento da obra por profissionais.

A fresagem consiste na expulsão de obstáculos nas tubagens, como sedimentações, ramais, raízes, argamassas, etc, através do equipamento de fresagem que faz um movimento rotativo contínuo junto às paredes da conduta. Esta acção tem o efeito de corte dos excedentes e dá origem a uma superfície aparentemente uniforme. [35]

Após a intervenção, os resíduos fresados, soltos e dispersos na conduta, são eliminados com um camião de impulsão e sucção que faz a limpeza final. Deve fazer-se uma inspecção final ao local, para garantir que o procedimento ficou bem feito.

3.6.3 ENSAIOS

3.6.3.1 Ensaio de Pressão de Água

A conduta deve ser ensaiada como um todo ou, se necessário, dividida em várias secções de teste. Estas deverão ter a pressão uniformizada e limitada inferiormente à MDP (Maximum Design Pressure), isto é, a pressão mínima adequada ao ensaio corresponde à pressão máxima de operação do sistema, no ponto mais alto do troço ensaiado. Para isso, é retirado o maior volume de ar possível da tubagem e o posterior enchimento com água, executado lentamente, deve ser feito através do ponto mais baixo da rede. A definição da pressão de ensaio (STP – System Test Pressure) acontece através de uma das seguintes fórmulas:

- Com o Choque Hidráulico calculado $\rightarrow STP = MDP + 100 \text{ KPa}$
- Sem o Choque Hidráulico calculado $\rightarrow STP = \min \{MDPa \times 1,5 ; MDPa + 500 \text{ kPa}\}$

Onde MDPa é a pressão máxima de projecto, com o pressuposto que o valor do choque hidráulico é sempre igual ou superior a 200 kPa.

O ensaio continua em três fases: preliminar, de queda de pressão e principal. O ensaio preliminar tem como objectivos a estabilização do troço, a garantia de saturação com a quantidade de água necessária e o incremento de volume em tubagens flexíveis.

O ensaio de queda de pressão permite avaliar o volume de ar remanescente no interior da conduta. Numa primeira fase, eleva-se a pressão na conduta até à STP. De seguida, é retirada uma variação de volume (ΔV) de água e medida a variação de pressão (ΔP) resultante. Por fim, o ΔV é comparado com o $\Delta V_{m\acute{a}x}$ admissível, calculado por:

$$\Delta V_{m\acute{a}x} = 1.5 \times V \times \Delta P \times \left(\frac{1}{E_w} + \frac{D}{e \times E_r} \right) \quad (3.1.)$$

Onde V é o volume do troço ensaiado; E_w é o módulo de Bulk da água [2.15×10^9 Pa]; D e e são, respetivamente, o diâmetro e a espessura da tubagem; e E_r é o módulo de elasticidade do tubo.

Concluídos os dois ensaios anteriores, tem início o ensaio principal. O seu objectivo é medir a variação de pressão (método de perda de pressão) ou medir a perda de água (método de perda de água), concluindo no final se os valores estão de acordo com a norma EN 805.

- a) Método de perda de água – estabelece a STP, e mantendo a pressão constante, é medido ao fim de uma hora o diferencial do volume de água que entrou. O ΔV é então verificado, sendo que não deve ultrapassar o $\Delta V_{m\acute{a}x}$:

$$\Delta V_{m\acute{a}x} = 1.2 \times V \times \Delta P \times \left(\frac{1}{E_w} + \frac{D}{e \times E_r} \right) \quad (3.2.)$$

- b) Método da perda de pressão – estabelecer a STP, e mantendo o volume de água constante, é medido ao fim de uma hora o diferencial da pressão perdida. Este ΔP não deverá ser inferior a 20 kPa (em tubos de FFD, de betão cilíndricos ou de plástico) ou a 40 kPa (em tubos de betão não cilíndricos).

3.6.3.2 Ensaio de Ar, a juntas

De acordo com a norma EN 1610, antes da aplicação deste procedimento deve ser feito o posicionamento pormenorizado das juntas, no troço que não aceitou favoravelmente o ensaio de ar. Este procedimento tem como objectivo detectar as juntas não estanques, com o respectivo posicionamento.

O ensaio decorre ao longo do troço, numa análise junta a junta. Para isso, são posicionados dois obturadores ligados entre si, posicionados entre juntas, equipados com uma câmara de inspecção vídeo. A malha de ensaio vai sendo apertada até, por fim, serem detectadas as juntas não estanques.

3.6.3.3 Ensaio de Ar, a caixas de visita

O processo tem início com a ventilação e limpeza do troço, garantindo a correta colocação dos obturadores nas tubagens e no topo das caixas de visita. Seguidamente, são feitas as medições da altura e do diâmetro da caixa, em conformidade com a EN 1610. Os trabalhos de preparação terminam ao ser aplicada uma pressão de 100 mbar na caixa de visita.

O ensaio tem a duração de 5 minutos, no caso de as caixas terem o betão seco, ou de 7 minutos em todas as outras situações, inclusive se o betão estiver molhado ou se as caixas forem de outro material. Um bom resultado será a verificação de que a pressão não desceu mais do que 15 mbar.

3.6.3.4 Ensaio de estanquidade em redes gravíticas

O objectivo destes ensaios é avaliar ao longo de um certo troço se, e onde, há fugas ou infiltrações na rede, podendo ser diagnosticadas três possibilidades: junta montada deficientemente, junta inexistente ou acessórios mal montados. São avaliadas as perdas de ar ou água entre caixas de visita, incluindo o percurso da água no colectador e desde os ramais domiciliários, de acordo com um dos seguintes métodos: Ensaio a Ar (método L) e Ensaio a Água (método W).

As caixas de visita e as caixas de ramal são tamponadas, recorrendo a um tampão pneumático em borracha (Figura 3.17) que é insuflado até à pressão de 1.5 bar. Nos ramais, o tampão é colocado com um braço telescópico (Figura 3.18).



Figura 3.17 - Tampão pneumático em borracha para as caixas de visita e ramal, usado no ensaio de estanquidade



Figura 3.18 - Braço telescópico usado no auxílio ao tamponamento das tubagens, nos ensaios de estanquidade

O ensaio a ar é o mais rigoroso e de execução mais expedita. O Quadro 3.2 representa a tabela pela qual se orienta o ensaio que está dividido em 4 métodos (LA, LB, LC e LD), que diferem no seu procedimento. A escolha do método cabe ao dono de obra, no entanto a EcoReferência, S.A. recomenda o LD por ser o mais exigente.

Após a limpeza da tubagem e colocação dos tampões pneumáticos nas caixas de visita e de ramal, dá-se início ao ensaio. Este procedimento começa com a identificação do material e do diâmetro da conduta, de forma a identificar-se na tabela de ensaio o valor da pressão do ensaio (P_0), que é relativa à pressão atmosférica. Conhecido este valor, e dando-lhe uma folga em excesso de 10% de P_0 , aplica-se essa pressão à conduta durante 5 minutos aproximadamente, para que a tubagem se “acomode”.

O ensaio decorre com a colocação da pressão P_0 durante o tempo estipulado pela tabela, ao fim do qual o diferencial da pressão (ΔP) medido deve ser igual ou inferior ao valor da tabela.

Quadro 3.2 - Tabela de valores do ensaio a ar, a caixas de visita

Material	Método do ensaio	P ₀	ΔP	Tempo do teste (min)						
		mbar		DN 100	DN 200	DN 300	DN 400	DN 600	DN 800	DN 1000
Tubagem de betão seco	LA	10	2.5	5	5	5	7	11	14	18
	LB	50	10	4	4	4	6	8	11	14
	LC	100	15	3	3	3	4	6	8	10
	LD	200	15	1.5	1.5	1.5	2	3	4	5
Valores de kp	-	-	-	0.058	0.058	0.053	0.040	0.0267	0.020	0.016
Tubagem de betão ou outros materiais, molhada	LA	10	2.5	5	5	7	10	14	19	24
	LB	50	10	4	4	6	7	11	15	19
	LC	100	15	3	3	4	5	8	11	14
	LD	200	15	1.5	1.5	2	2.5	4	5	7
Valores de kp	-	-	-	0.058	0.058	0.040	0.030	0.020	0.015	0.012

O método alternativo, o ensaio a água, representado na Figura 3.19, é moroso e reflecte grandes desperdícios de água. Os trabalhos preparatórios são comuns aos do ensaio a ar, sendo seguidos do enchimento da conduta com água. O enchimento é feito continuamente, até que o tampão a jusante registre um valor de pressão no intervalo entre 100 e 500 mbar, e é mantida essa pressão durante 1 hora.

A duração do ensaio é de aproximadamente 30 min, período no qual deverá assegurar-se que a pressão do ensaio não varia mais do que 10 mbar, através dos enchimentos de água. O registo final contém o acréscimo de água necessário para manter a pressão constante.

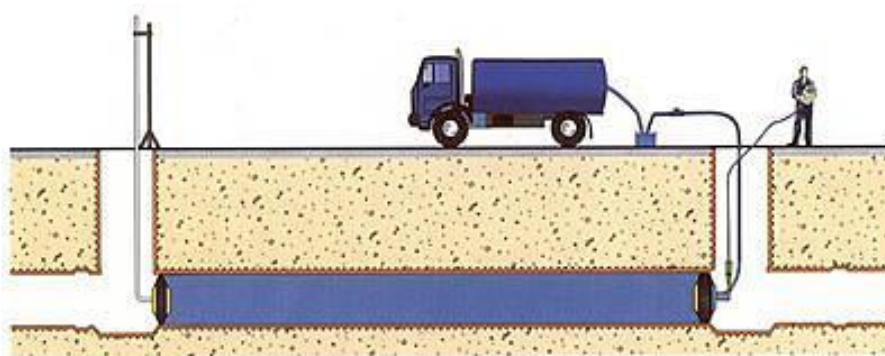


Figura 3.19 - Ensaio de estanquidade em redes gravíticas, pelo método de ensaio a água

3.6.4 REABILITAÇÃO

3.6.4.1 Sistema de reabilitação de forquilhas (SRF)

A reabilitação de forquilhas realizada pela EcoReferência, S.A. é similar à reparação parcial por aplicação de resina epóxi, referida em 3.4.1.2.

Inicialmente, e como se tem vindo a observar como medida básica nos procedimentos da empresa, este procedimento começa com os trabalhos preparatórios: reconhecimento da obra por pessoal qualificado (de modo a obter a medição exacta do tramo, a constatação do espaço disponível para atuar, estudo do *by-pass*, etc); a limpeza; a inspecção CCTV; e, se necessário, a fresagem.

A técnica do SRF, que ocorre sem abertura de vala, consiste na impregnação de mangas no interior das tubagens e das forquilhas, sendo que as mangas estão revestidas com uma mistura de resinas e têm o diâmetro adequado á obra. Esta aplicação é feita com o recurso a inspecção vídeo para um melhor controlo do posicionamento do equipamento, que, quando no local pretendido, a pressão do ar é elevada controladamente expandido o insuflável. Após o período de cura das resinas, despressuriza-se e retira-se o equipamento pneumático.

3.6.4.2 Reabilitação pelo sistema de fecho rápido (*quick-lock*)

A reabilitação por fecho rápido é uma solução puramente mecânica, adequada a reparações parciais e totais de conduitas, com aplicabilidade em situações de infiltrações, fugas, fissurações, desvios de eixos, reforço estrutural, pequenas ovalizações, e outras anomalias. É aplicável em redes de drenagem de águas residuais domésticas, pluviais, de adução e de distribuição, tanto em redes novas como em redes em serviço.

Esta reabilitação sem abertura de vala recorre a um elemento cilíndrico, composto por uma alma em aço inoxidável V4A e uma manga de borracha em EPDM no exterior. Este equipamento tem, na alma de aço, um fecho ajustável a diâmetros desde DN150 até DN800.

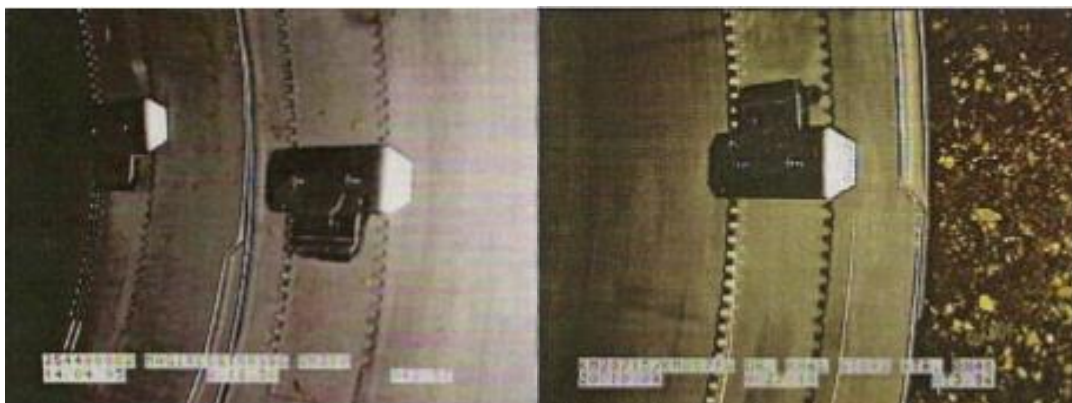


Figura 3.20 - Fecho rápido no interior de uma tubagem, a aplicar na técnica de “quick-lock”

O procedimento decorre com a colocação do remendo no interior da conduta e seu posicionamento no local da anomalia. Uma vez colocado nessa zona, o fecho é aberto de modo a expandir o elemento cilíndrico, que será ajustado com o diâmetro das paredes da conduta. A pressão da peça sobre a tubagem deve ser suficiente à sua estanquidade e durabilidade ao longo do tempo, que por sua vez já é

uma das propriedades da manga de borracha, resistente ao ozono, às condições atmosféricas, ao envelhecimento, entre outras. Como se pode verificar pela Figura 3.21, esta técnica poderá ser manuseada pelo técnico no interior da conduta, se o diâmetro for grande o suficiente.



Figura 3.21 - Manuseamento do fecho rápido por um técnico, no interior da conduta

3.6.4.3 Inserção de uma nova conduta

Apesar da oferta de procedimentos de reabilitação descritos anteriormente, a reabilitação oferecida por esta empresa dependem também das exigências feitas em cada projeto, podendo haver mais possibilidades de oferta em conformidade com o requerido.

Um exemplo dessa adaptação é o próprio caso prático desta dissertação. O concurso de reabilitação em estudo sugeriu o uso de um determinado procedimento, pelo que a EcoReferência, S.A. apresentou a sua proposta de reabilitação onde a conduta nova é inserida no interior da antiga. No sub-capítulo 4.4.5. estará descrita a técnica com pormenor.

4

ESTUDO DE CASO – SISTEMA DE SANTIAGO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A presente tese pretende aprofundar os conhecimentos relativos à reabilitação sem abertura de vala, nomeadamente fornecer uma percentagem do ganho económico ao aplicar estas técnicas, em detrimento das tradicionais. Com esse intuito, optou-se por estudar um caso prático e avaliar as diferenças reais entre dois assuntos:

- A importância da reabilitação – para isso, foi comparado o diferencial económico entre os gastos com o funcionamento da rede original, com todos os defeitos associados, e os gastos com o funcionamento da rede reabilitada, somados ao investimento da reabilitação;
- Vantagens da reabilitação sem abertura de vala – assumindo como válida a reabilitação num dado projeto, fez-se uma comparação económica entre os procedimentos de reabilitação com e sem abertura de vala.

Após uma reunião com os engenheiros da EcoReferência, S.A., estabeleceu-se que o caso de estudo seria um projecto no qual a empresa estivesse a trabalhar. Assim, o Concurso à empreitada da reabilitação do Sistema de Santiago consagrou-se o caso prático deste trabalho.

O presente capítulo tem como objetivo mostrar os dados recolhidos sobre este projeto, de modo a poder proceder-se aos cálculos e respectiva discussão no capítulo 5.

4.2 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE SANTIAGO

Em 2002, a Águas de Gondomar, empresa concessionária do abastecimento de água e tratamento de águas residuais do concelho de Gondomar, assumiu o compromisso de executar um ambicioso plano de modernização e ampliação de infra-estruturas. [36] Até à data, investiu cerca de 45 milhões de euros no concelho, dos quais em Melres construiu as obras de:

- Abastecimento de água
 - Adutoras: 10 236 m
 - Reservatórios: 350 m³
 - Redes de Distribuição: 2 878 m
- Sistema de águas residuais: 14 818 m (de colectores e respectivos acessórios)

O Sistema de Santiago foi o projecto delineado para a drenagem das águas residuais da freguesia de Melres, que começou a ser projetado em 2004, constituído por inúmeros componentes de drenagem. Foram previstos vários quilómetros de coletores gravíticos e de condutas elevatórias, associados aos quais estariam ainda os acessórios e cerca de 10 estações elevatórias.

O destino final da água seria a ETAR de Santiago, a construir também no âmbito deste mesmo projecto. Situada na margem direita do Rio Douro entre Ribeira e Redolhos, seria o ponto de encontro da totalidade dos caudais de águas residuais da freguesia de Melres. Depois de tratadas, as águas seriam encaminhadas para o Rio Douro, numa descarga feita permanentemente afogada, a jusante da praia de Moreira.

Desde 2004 até ao presente, apenas foram executadas as condutas gravíticas e elevatórias, razão pela qual o sistema elevatório não se encontra em funcionamento – não existem estações elevatórias. A Figura 4.1 representa a configuração em planta das estruturas implementadas, designadamente as Condutas Elevatórias 2 e 10 (CE2 e CE10), representadas a azul, e as condutas gravíticas pertencentes às duas bacias referidas (2 e 10), a verde. A imagem indica ainda onde seriam construídas as Estações Elevatórias 2 e 10 (EE2 e EE10) e a ETAR de Santiago.

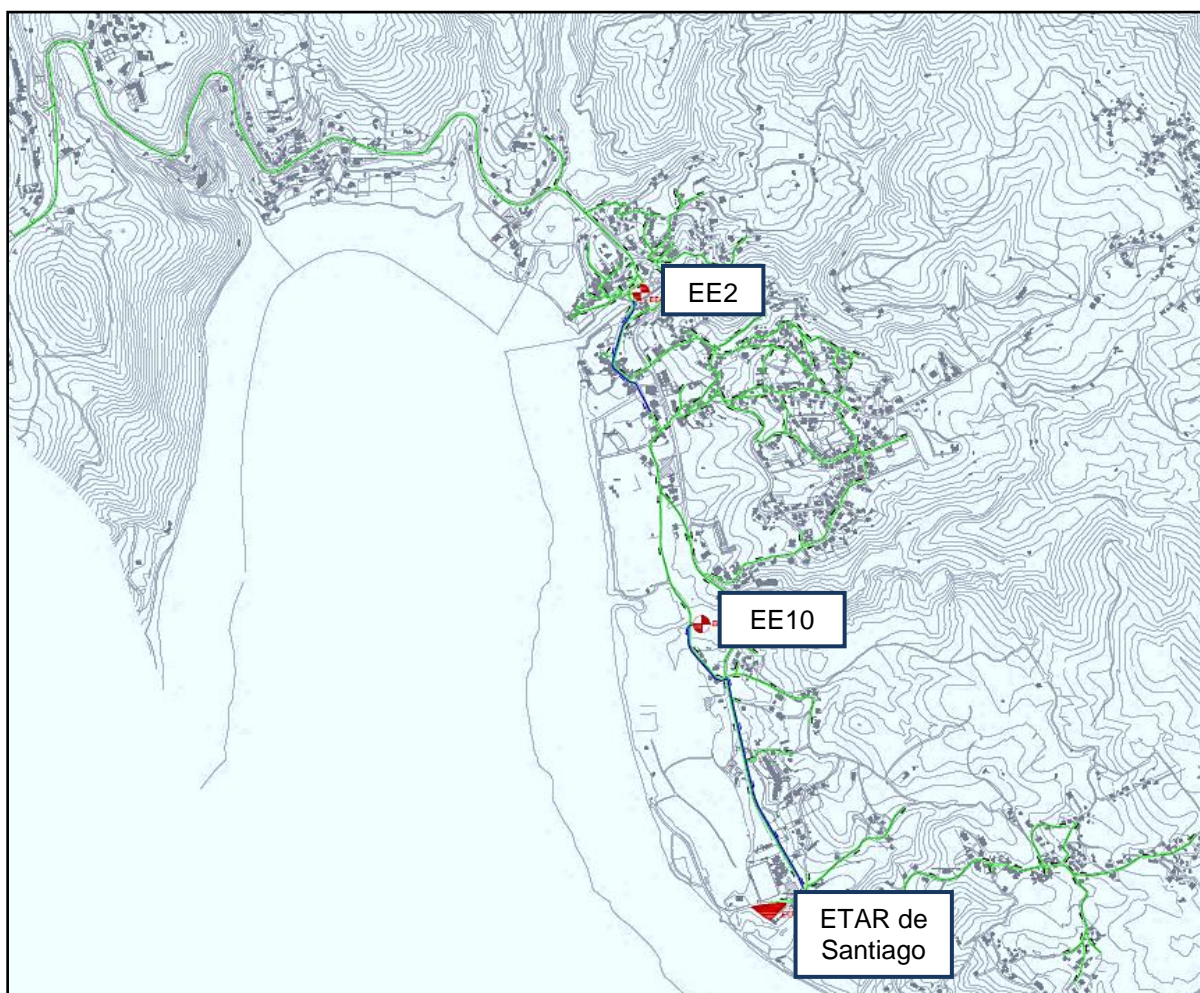


Figura 4.1 - Localização das Condutas Elevatórias 2 e 10, e futura localização das Estações Elevatórias 2 e 10 e da ETAR de Santiago [37]

As condutas elevatórias situam-se quase na sua totalidade sobre o eixo da Estrada Nacional N 108 e os restantes troços estão sobre eixos de ruas perpendiculares. Como se pode observar na figura anterior, as duas condutas elevatórias traçam uma linha quase reta até à ETAR, no entanto a implementação exata é pouco perceptível. As Figuras 4.2 e 4.3 retiradas do *software* “Google Earth” das condutas 2 e 10, respectivamente, são uma aproximação ao terreno que permite uma análise mais pormenorizada da localização das mesmas.



Figura 4.2 - Localização da conduta elevatória 2, estimada no Google Earth



Figura 4.3 - Localização da conduta elevatória 10, estimada no Google Earth

É de referir que a escala de visualização das duas imagens não é igual, estando a Figura 4.2 a maior escala do que a Figura 4.3. A grandeza do diferencial pode ser equiparada com a grandeza da extensão das conduitas, sendo que a CE2 tem cerca de 320m, e a CE10 aproximadamente 810m.

O Sistema de Santiago não foi totalmente executado, pelo que recentemente ressurgiu o interesse em concluir esta obra. A empresa concessionária elaborou um estudo de revisão ao projeto realizado em 2004, vindo a definir posteriormente que era conveniente proceder-se à reabilitação das duas conduitas elevatórias indicadas, CE2 e CE10. Assim, o presente caso de estudo focar-se-á na avaliação da reabilitação destas estruturas.

4.3 PROJECTO INICIAL (2004)

4.3.1 DRENAGEM GRAVÍTICA

As características hidráulicas do sistema elevatório dependem dos equipamentos electrobombas instalados a montante e da sua articulação com os volumes afluentes ao poço de bombagem. A conceção deste último, resulta da determinação dos volumes de água drenados e da capacidade necessária para os armazenar e bombear, com tempos de bombagem e de enchimento determinados. A Figura 4.4 pretende ilustrar de que forma é que se organiza a hierarquia de influência dos elementos a montante nas conduitas elevatórias.

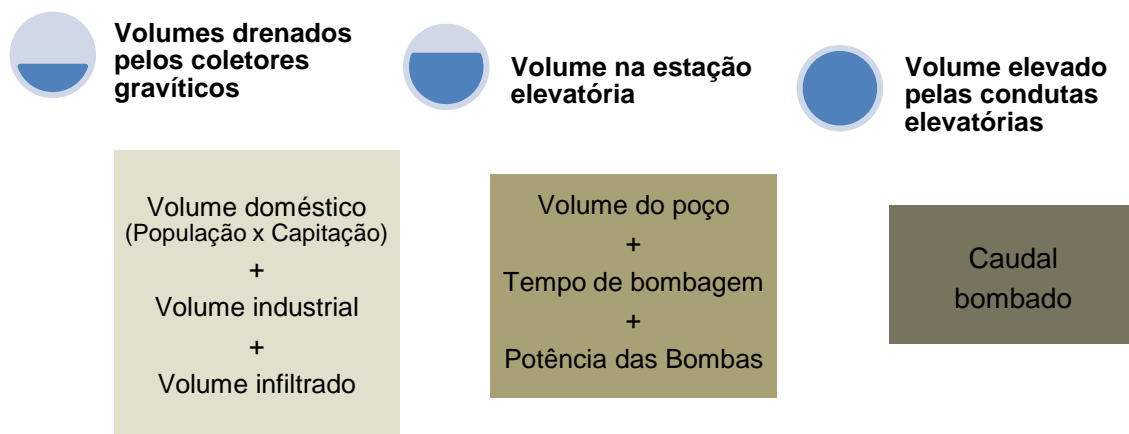


Figura 4.4 – Diagrama da hierarquia de influência de cada parâmetro no caudal das conduitas elevatórias

4.3.1.1 Bacia 2

A EE2 foi concebida para receber graviticamente toda a rede que para ela drena diretamente e a rede da bacia 8, elevando depois a água pela conduta elevatória CE2, até à caixa 10.337 da bacia 10. Na Figura 4.5, está esquematizado o percurso hidráulico dos coletores de drenagem gravíticos principais, que levam as águas residuais das bacias 2 e 8 até à EE2.

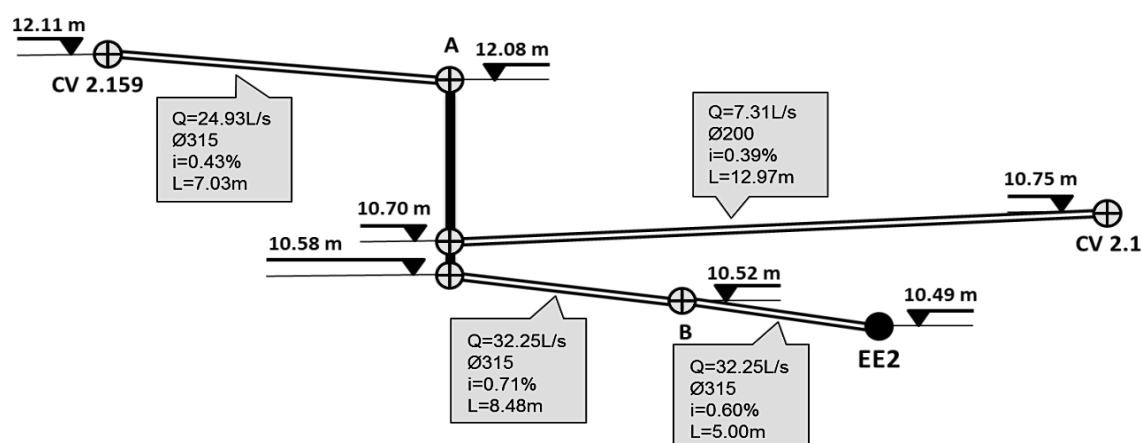


Figura 4.5 - Esquema do percurso hidráulico que chegará à EE2

O Quadro 4.1 resume as características do funcionamento pretendido na EE2. Os valores admitidos no quadro supracitado não foram questionados, isto é, uma vez que os documentos oficiais já continham estes valores, não foi confirmada a sua veracidade e os futuros cálculos serão feitos com base nos mesmos. No entanto, é interessante referir que:

- O $V_{mda,doméstico}$ encontra-se sob influência do factor 0.8, de afluência à rede;
- O $V_{mda,total}$ é o somatório do volume doméstico, com uma parcela de 10% correspondente aos caudais imprevisíveis, e com uma parcela de infiltrações, calculada pela multiplicação do caudal infiltrado (0.1736 l/s.km) por quilómetros de colector (11.72 km);
- Os factores de ponta mensal e diário considerados foram de, respectivamente, 1,3 e 1,5 vezes o volume médio diário anual doméstico;
- O factor de ponta horário é multiplicado pelo $V_{mda,médio}$.

Quadro 4.1 - Valores esperados para a EE2, definidos no Projecto Inicial

EE2									
Ano	2004	2009	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
Cap (l/dia.hab)	150	159	168	177	186	190	190	190	190
Pop futura (hab)	2331	2514	2716	2933	3174	3437	3724	4040	4386
$V_{mda} (m^3/dia)$ doméstico	279,7	319,8	365,0	415,3	472,3	522,4	566,0	614,1	666,7
$V_{mda} (m^3/dia)$ total	560,4	604,4	654,2	709,5	772,2	827,4	875,3	928,2	986,0
$V_{md,max} cons (m^3/dia)$	644,3	700,4	763,7	834,1	913,9	984,1	1045,2	1112,4	1186,0
$V_{d,max} (m^3/dia)$	700,2	764,3	836,7	917,2	1008,4	1088,6	1158,4	1235,2	1319,4
Fponta horários	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,7
$Q_{p,afl,EE2} (l/s)$	16,20	17,73	19,82	22,15	24,79	26,51	28,48	29,93	32,25

4.3.1.2 Bacia 10

A EE10 foi concebida para receber graviticamente toda a sua rede e, por elevação, receber as redes das bacias 2, 3 e 5. Depois, as águas residuais serão elevadas pela conduta elevatória CE10, até à caixa 11.104 da bacia 11, que deverá terminar na ETAR de Santiago.

Na figura 4.6 está esquematizado o percurso hidráulico dos coletores de drenagem gravíticos principais que levam as águas residuais até à EE10. Posteriormente, o quadro 4.2 apresenta as características esperadas para o funcionamento da EE10, aquando do seu primeiro estudo [37].

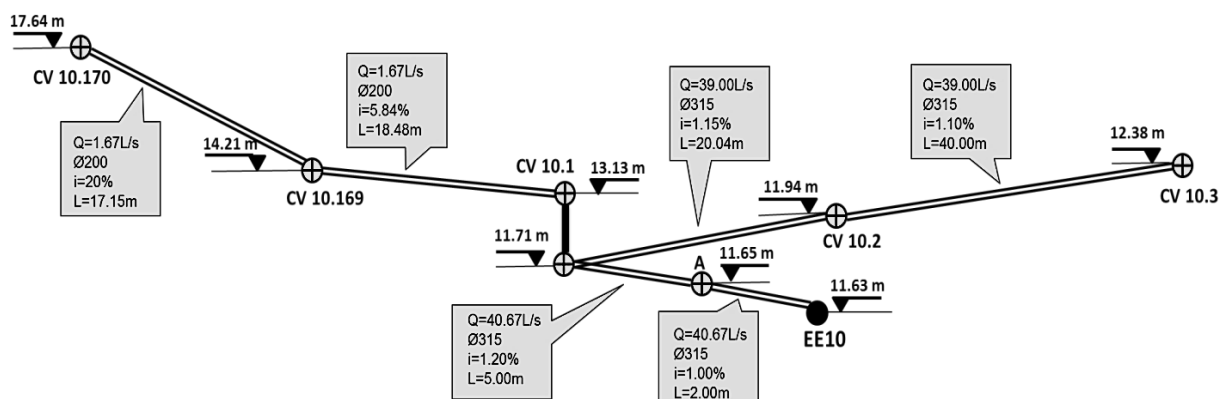


Figura 4.6 – Esquema do percurso hidráulico que chega à EE10

Quadro 4.2 – Valores esperados para a EE10, definidos no Projecto Inicial

EE10									
Ano	2004	2009	2014	2019	2024	2029	2034	2039	2044
Cap (l/dia.hab)	150	159	168	177	186	190	190	190	190
Pop futura (hab)	3691	3945	4217	4506	4819	5146	5488	5861	6266
Vmda (m ³ /dia) doméstico	442,9	501,8	566,8	638,0	717,1	782,2	834,2	890,9	952,4
Vmda (m ³ /dia) total	572,4	637,2	708,7	787,1	874,0	945,6	1002,8	1065,2	1132,9
Vmd,mmáx cons (m ³ /dia)	705,3	787,7	878,7	978,5	1089,1	1180,3	1253,1	1332,4	1418,6
Vd,mmáx (m ³ /dia)	793,9	888,1	992,0	1106,1	1232,5	1336,7	1419,9	1510,6	1609,1
Fponta horários	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5
Qp,afl,EE10 (l/s)	20,98	23,64	25,91	29,05	31,69	34,48	36,71	38,11	40,67

4.3.1.3 Aprimoramento dos dados recebidos

De modo a estabelecer-se uma relação entre o projeto inicial e a revisão de projeto (que será abordada mais adiante), entendeu-se que seria útil estimar a curva de progressão da população e da capitação de cada uma das bacias.

O Quadro 4.3 representa os resultados obtidos pelo *software* Excel. Para ambas as bacias 2 e 10, foi desenhada uma curva de regressão exponencial sobre o gráfico de dados referentes à população apresentados anteriormente (de 5 em 5 anos). Esta curva permitiu posteriormente obter os valores de população para cada ano.

$$(\text{Bacia 2}) Pop_{ano} = Pop_{ano-1} \times e^{0.079 \times 1/5} \quad (4.1.)$$

$$(\text{Bacia 10}) Pop_{ano} = Pop_{ano-1} \times e^{0.066 \times 1/5} \quad (4.2.)$$

Onde Pop_{ano} representa a população calculada para um dado ano “ano”.

Quadro 4.3 – Resultados obtidos na progressão geométrica de ambas as Bacias, sobre a população

Ano	População da Bacia 2		População da Bacia 10	
	Fornecida	Calculada	Fornecida	Calculada
2004	2331	2331	3691	3691
2005		2368		3740
2006		2406		3790
2007		2444		3840
2008		2483		3891
2009	2514	2523	3945	3943
2010		2563		3996
2011		2604		4049
2012		2645		4103
2013		2687		4157
2014	2716	2730	4217	4213
2015		2773		4269
2016		2818		4326
2017		2863		4383
2018		2908		4441
2019	2933	2954	4506	4501
2020		3001		4560
2021		3049		4621
2022		3098		4683
2023		3147		4745
2024	3174	3197	4819	4808

2025		3248		4872
2026		3300		4937
2027		3352		5003
2028		3406		5069
2029	3437	3460	5146	5137
2030		3515		5205
2031		3571		5274
2032		3628		5344
2033		3686		5416
2034	3724	3745	5488	5488
2035		3804		5561
2036		3865		5635
2037		3926		5710
2038		3989		5786
2039	4040	4052	5861	5863
2040		4117		5941
2041		4182		6020
2042		4249		6100
2043		4317		6181
2044	4386	4385	6266	6263

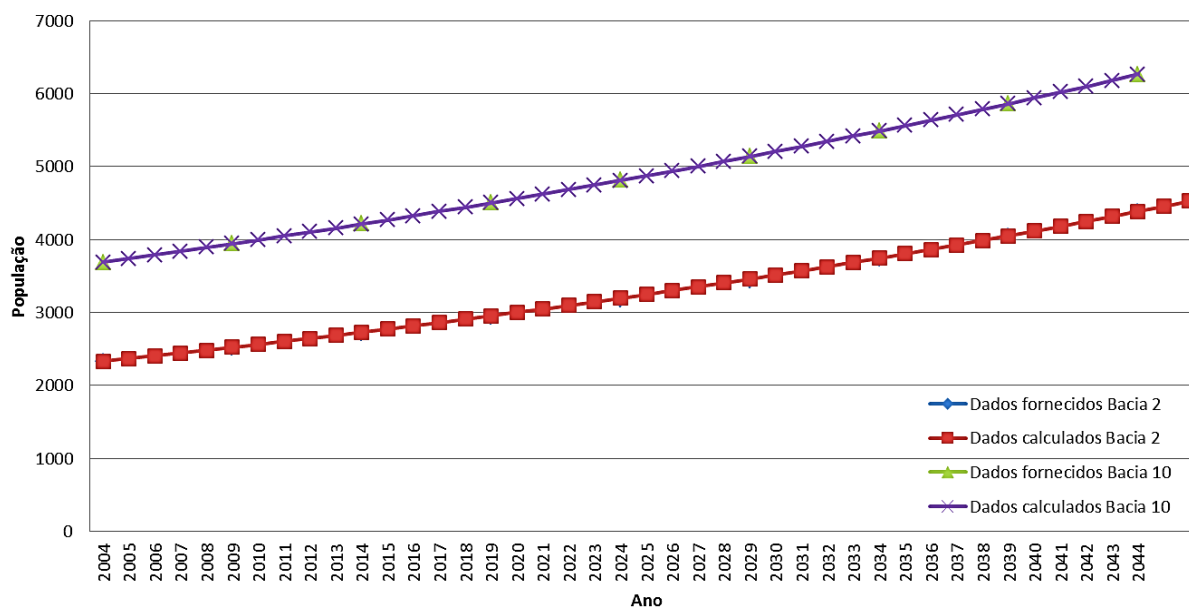


Figura 4.7 – Gráfico baseado nos resultados do Quadro 4.3: evolução da população prevista pelo projeto inicial

Relativamente à capitação, o procedimento de cálculo foi idêntico. No entanto, os dados para as bacias 2 e 10 são iguais, pelo que se revelou suficiente fazer apenas um cálculo representativo de ambas.

$$Cap_{ano} = -0.0372 \times (ano - 2004)^2 + 2.597 \times (ano - 2004) + 145.86 \quad (4.3.)$$

Onde Cap_{ano} é a capitação calculada para um dado ano “ano”.

Quadro 4.4 – Resultados obtidos na progressão geométrica, sobre a capitação

Ano	Capitação das Bacias 2 e 10	
	Fornecida	Calculada
2004	150	145.9
2005		148.4
2006		150.9
2007		153.3
2008		155.7
2009	159	157.9
2010		160.1
2011		162.2
2012		164.3
2013		166.2
2014	168	168.1
2015		169.9
2016		171.7
2017		173.3
2018		174.9
2019	177	176.4
2020		177.9
2021		179.3
2022		180.6
2023		181.8
2024	186	182.9
2025		184.0
2026		185.0
2027		185.9
2028		186.8
2029	190	187.5
2030		188.2

2031		188.9
2032		189.4
2033		189.9
2034	190	190.3
2035		190.6
2036		190.9
2037		191.1
2038		191.2
2039	190	191.2
2040		191.1
2041		191.0
2042		190.8
2043		190.6
2044	190	190.2

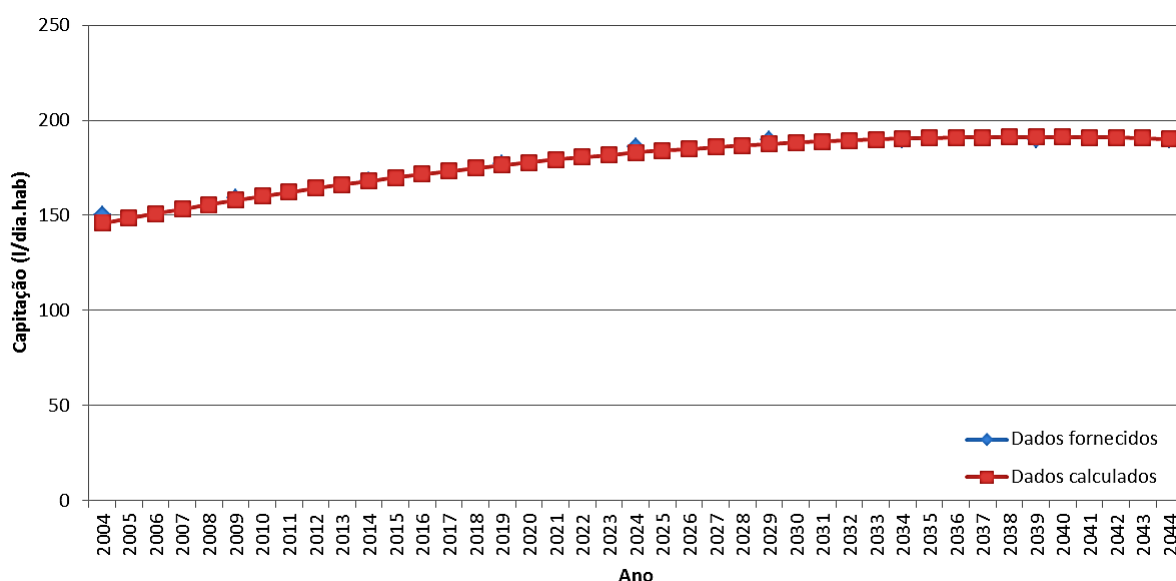


Figura 4.8 – Gráfico baseado nos resultados do Quadro 4.4: evolução da captação prevista pelo projeto inicial

4.3.2 GRUPOS ELECTROBOMBA

Os equipamentos de bombagem são cruciais no funcionamento das condutas elevatórias, sendo eles os responsáveis pela existência de caudal nas mesmas. Existem diversos tipos de bombas, quer a níveis físicos: tamanho, instalação horizontal ou vertical, tubagem associada, etc; quer a níveis de desempenho hidráulico, como a potência consumida, o caudal bombado, etc. O dimensionamento das bombas deve, portanto, ser rigoroso por forma a obter-se os resultados pretendidos.

Neste projecto, os cálculos das bombas foram feitos para duas fases:

- A 1ª fase de funcionamento das EEs foi calculada para os primeiros 20 anos de vida da obra. Considerou-se para caudal de cálculo base, o caudal de ponta afluente à estação no ano 20 (2024), multiplicado pelo factor de segurança 1,2;
- A 2ª fase tem como base o caudal de cálculo que serviu para o dimensionamento da conduta elevatória, a fim de se determinar o atravancamento máximo a considerar para os equipamentos e o diâmetro da conduta de compressão no interior da estação.

4.3.2.1 Bomba 2 (B2), a instalar na Estação Elevatória 2 (EE2)

O grupo electrobomba originalmente a instalar na EE2 é constituído por dois equipamentos, funcionando apenas um de cada vez. O suplente é usado em caso de avaria ou se, por algum motivo, for necessário parar os trabalhos da bomba principal. O Quadro 4.5 descreve com pormenor as características mais relevantes da bomba escolhida.

Quadro 4.53 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE2 (Adaptado de [37])

Características		1ª Fase	2ª Fase
Modelo	S1 104 AH1	-	-
	Velocidade de rotação	1456 rpm	1456 rpm
Funções requeridas	Caudal pretendido	29,8 l/s	38,7 l/s
	Altura estática	10,8 m	10,8 m
	Altura manométrica	14,4 m	16,8 m
Desempenho da bomba (ponto óptimo da instalação)	Caudal bombado	36,5 l/s	36,6 l/s
	Altura manométrica	16,0 m	16,2 m
	Potência absorvida	9,7 kW	9,8 kW
	Potência útil	8,0 kW	8,1 kW
	Eficiência da bomba	71,5 %	71,6 %
	Rendimento do grupo	59,2 %	59,2 %

4.3.2.2 Bomba 10 (B10), a instalar na Estação Elevatória 10 (EE10)

O grupo electrobomba projectado para a EE10 é constituído por dois equipamentos, na mesma condição que na EE2, no entanto com uma maior capacidade do que os equipamentos anteriores. De seguida, o Quadro 4.6 descreve com pormenor as características mais relevantes da bomba escolhida.

Quadro 4.6 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE10 (Adaptado de [37])

Características		1ª Fase	2ª Fase
Modelo	S1A 224 H1	-	-
	Velocidade de rotação	1455 rpm	1458 rpm
Funções requeridas	Caudal pretendido	38,0 l/s	48,8 l/s
	Altura estática	17,45 m	17,45 m
	Altura manométrica	22, m	25,2 m
Desempenho da bomba (ponto óptimo da instalação)	Caudal bombado	42,8 l/s	52,1 l/s
	Altura manométrica	23,6 m	26,2 m
	Potência absorvida	16,4 kW	21,4 kW
	Potência útil	14,2 kW	19,2 kW
	Eficiência da bomba	69,8 %	69,8 %
	Rendimento do grupo	60,4 %	62,7 %

4.3.3 POÇOS DE BOMBAGEM, PB

Estes elementos consistem num tanque imediatamente a montante da bomba, onde chega o caudal drenado que será posteriormente bombado. O PB é um elemento de controlo de volume de água, importante na gestão do caudal e do tempo de bombagem.

4.3.3.1 Poço de bombagem 2 (PB2), a instalar na EE2

Na estação EE2, o projeto inicial considerou que o número de arranques máximo da bomba é de 10, valor esse que ocorre quando o caudal bombado é o dobro do caudal afluente. Como forma de entender este valor, com base em cálculos analíticos resumidos adiante no Quadro 4.8, será demonstrado este limite máximo tendo em consideração um caudal afluente à EE2 de 18,3 l/s. O PB2 a instalar terá uma área de 5,175 m² e a altura da água a variar com os volumes de água retidos e bombados, sendo os níveis de bombagem:

Quadro 4.7 - Níveis do poço de bombagem 2, fornecidos pelos documentos do projeto inicial

Situação	1ª Fase		2ª Fase	
	Nível	Volume	Nível	Volume
Paragem	0,80 m	4.1 m ³	0,80 m	4.1 m ³
Arranque	1,12 m	5.8 m ³	1,12 m	5.8 m ³
Máximo	1,50 m	7.8 m ³	1,50 m	7.8 m ³

Tomando conhecimento dos volumes indicados e do caudal afluyente, o cálculo dos tempos de enchimento e de bombagem resultam da divisão:

$$\Delta T = \frac{V}{Q} \quad (4.4.)$$

O tempo de enchimento, ou tempo de arranque (ΔT_{arranq}) deriva dos valores de caudal afluyente à EE2 (Q_{afl}) e do volume de arranque. O tempo de bombagem (ΔT_{bomb}) deriva do caudal bombado (Q_{bomb}) e da diferença de volume do poço, entre o volume de arranque e o de paragem (V_{bomb}). Destes cálculos, resultam os valores indicados no Quadro 4.6.

Quadro 4.8 - Tabela do cálculo do número de arranques máximo por hora, por fase, no PB2

Fase	Q_{afl} (l/s)	ΔT_{arranq} (min)	Q_{bomb} (l/s)	$V_{\text{bomb}} = V_{\text{arranq}} - V_{\text{parag}}$ (m ³)	ΔT_{bomb} (min)	$\Delta T_{\text{ciclo}} = \Delta T_{\text{a}} + \Delta T_{\text{b}}$ (min)	Nº arranq máx/ hora
1ª	18.3	5.3	36.5	1.7	0.75	6.0	10 (O.K.)
2ª	18.3	5.3	36.5	1.7	0.75	6.0	10 (O.K.)

4.3.3.2 Poço de bombagem 10 (PB10), a instalar na EE10

O número de arranques máximo da bomba B10 considerado no projeto inicial foi igualmente 10, pelo que os cálculos seguintes pretendem seguir o mesmo raciocínio de cálculo anterior para demonstrar este valor. Neste caso, os caudais afluentes são 21.4 l/s e 26.05 l/s, consoante a fase em análise 1 e 2, respetivamente. A área do PB é de 5,175 m² e a altura da água varia com os volumes de água retidos e bombados, indicados no Quadro 4.9.

Imediatamente a seguir, surge o Quadro 4.10 onde, seguindo os mesmos ideais de cálculo anteriores, ficou provado que o número máximo de arranques da bomba por hora é 10.

Quadro 4.9 - Níveis do poço de bombagem 10, fornecidos pelos documentos do projeto inicial

Situação	1ª Fase		2ª Fase	
	Nível	Volume	Nível	Volume
Paragem	0,85 m	4,4 m ³	1,10 m	5,7 m ³
Arranque	1,22 m	6,3 m ³	1,55 m	8,0 m ³
Máximo	2,00 m	10,4 m ³	2,00 m	10,4 m ³

Quadro 4.10 - Tabela do cálculo do número de arranques máximo por hora, por fase, no PB10

Fase	Q_{afl} (l/s)	ΔT_{arranq} (min)	Q_{bomb} (l/s)	$V_{\text{bomb}} = V_{\text{arranq}} - V_{\text{parag}}$ (m ³)	ΔT_{bomb} (min)	$\Delta T_{\text{ciclo}} = \Delta T_{\text{a}} + \Delta T_{\text{b}}$ (min)	Nº arranq máx/ hora
1ª	21.4	4.9	42.8	1.9	0.75	5.7	10 (O.K.)
2ª	26.0	5.1	52.1	2.3	0.75	5.9	10 (O.K.)

4.3.4 ESTRUTURAS EM ESTUDO

4.3.4.1 Conduta elevatória 2 (CE2)

Conhecidas as condições a montante da CE2, o estudo prossegue com as características da própria conduta, que, como referido anteriormente, já se encontra instalada no terreno.

- A CE2 tem uma extensão de 320,7 m, ao longo da Rua Padre Jerónimo e da Rua das Quintãs;
- O desnível da conduta é de 10,4 m;
- O material da tubagem é o PVC-U PN10;
- O diâmetro comercial é o DN200, equivalente a 180,8 mm de diâmetro interior;
- O caudal de cálculo corresponde ao caudal obtido pelo ponto óptimo do sistema bomba + instalação no ano horizonte, que pela análise do Quadro 4.3 (“Tabela com as características da bomba a instalar na EE2, em 2004”) seriam 36,6 l/s;
- A viscosidade cinemática da água foi admitida para uma temperatura média de 20° C [38] no interior das condutas, resultando num valor de $1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- A rugosidade da conduta foi considerada $k=0,25 \text{ mm}$ neste projecto, embora nas tabelas inspeccionadas (Anexo 4.1) seja indicado o valor de 0,04 mm para o material PVC-U.

No esquema seguinte, Figura 4.9, está representada a CE2, onde são indicados alguns dos parâmetros essenciais ao seu cálculo: extensão, diâmetro, caudal, inclinação e desnível.

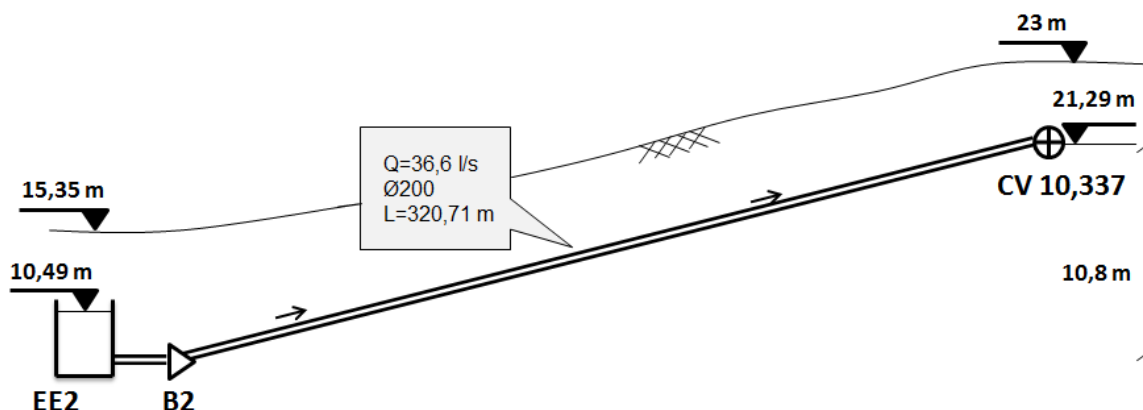


Figura 4.9 - Esquema da conduta elevatória 2, instalada no projecto original de 2004

4.3.4.2 Conduta elevatória 10 (CE10)

- A CE10 tem uma extensão de 821,40m, pela Av. José Joaquim Ferreira e Rua de Midões;
- O desnível da conduta é de 17,45 m;
- O seu material é o PVC-U PN10;
- O diâmetro comercial é o DN250, cujo diâmetro interior corresponde a 226,20 mm;
- O caudal de cálculo corresponde ao caudal obtido pelo ponto óptimo do sistema bomba + instalação no ano horizonte, que pela análise do Quadro 4.4 (“Tabela com as características da bomba a instalar na EE10, em 2004”) seriam 52,1 l/s;
- Foi considerada que a temperatura média de escoamento é de 20° C [38], resultando numa viscosidade cinemática da água de $1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Tal como na CE2, também na CE10 foi adoptada a rugosidade da conduta $k=0,25 \text{ mm}$.

No esquema seguinte, Figura 4.10, está representada a conduta elevatória 10, com a indicação dos parâmetros referidos anteriormente.

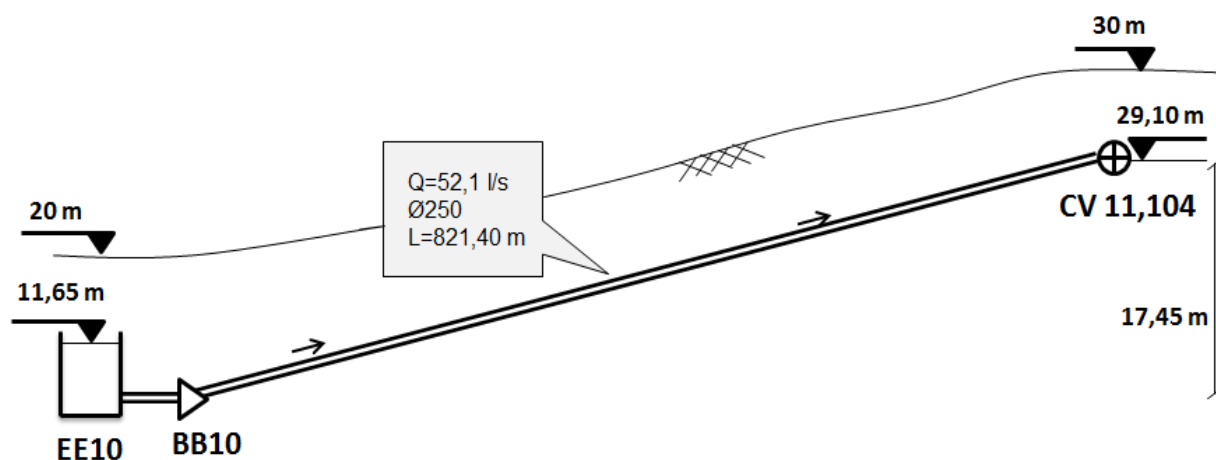


Figura 4.10 - Esquema da conduta elevatória 10, instalada no projecto original de 2004

4.4 CONCURSO RELATIVO A “REMODELAÇÃO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS”

4.4.1 MOTIVAÇÃO DO CONCURSO

A reavaliação pelos profissionais da Águas de Gondomar (AdG) que foi feita no presente ano, revelou que as características adotadas inicialmente não se adequam ao presente. Face às atuais condições de solicitação sobre o sistema, em menor população e capitações, verifica-se um potencial sobredimensionamento do sistema, motivo que atualmente urge na necessidade de o ajustar às condições atuais antes da sua execução e eventualmente, reabilitar os elementos já instalados na rede.

Assim, em Março de 2016, a AdG lançou um concurso público designado “Empreitada de remodelação de condutas elevatórias de águas residuais pelo método de Relining”, no sentido de contratar profissionais competentes com uma boa solução ao problema identificado, cujo programa de concurso se encontra em Anexo.

O objectivo proposto é diminuir significativamente os diâmetros de ambas as condutas elevatórias. No caso da CE2, passará de uma conduta PVC DN200 para uma conduta PEAD PE100 PN10 DN160. No caso da CE10, a alteração será de PVC DN250 para PEAD PE100 PN10 DN180.

O regulamento do concurso pede ainda que a remodelação seja feita através do método de *Relining*. Este processo de reabilitação decorre sem abertura de vala, tal como o âmbito da presente tese pretende abordar, e consiste num processo de revestimento (anteriormente já foram descritas algumas técnicas que se enquadram neste tipo de procedimento).

4.4.2 NOVAS SOLICITAÇÕES

Em 2004, o projecto foi dimensionado tendo em conta o ano horizonte 2044 e os respectivos valores estimados de acordo com as curvas de progressão, como são caso a população e a capitação. Ao fim de 12 anos, e tendo agora em conta os Censos de 2011, esperava-se que estes valores fossem muito superiores. No entanto, verifica-se um grande diferencial, razão que levou à determinação de uma nova curva de progressão ajustada aos dados atuais.

Os anos de projeto adotados no redimensionamento do sistema foram:

- 2016 como ano de início de exploração;
- 2031 como ano horizonte do equipamento eletromecânico;
- 2046 como ano horizonte de projeto.

Os dados obtidos nos documentos da revisão de projeto apenas revelaram os valores respeitantes a intervalos de 15 anos. Por essa razão, optou-se por obter as novas curvas de progressão geométrica, expressões 4.5 e 4.6, de modo a ser possível a comparação dos dados e futuros cálculos.

$$(\text{Bacia 2}) Pop_{ano} = Pop_{ano-1} \times e^{0.1196 \times 1/5} \quad (4.5.)$$

$$(\text{Bacia 10}) Pop_{ano} = Pop_{ano-1} \times e^{0.1195 \times 1/5} \quad (4.6.)$$

Quadro 4.11 - Novos resultados da curva de progressão geométrica da população, ajustada aos Censos de 2011.

Ano	População da Bacia 2		População da Bacia 10	
	Fornecida	Calculada	Fornecida	Calculada
2011	2447	2447	3248	3248
2012		2467		3274
2013		2487		3300
2014		2507		3327
2015		2527		3353
2016	2547	2547	3371	3380
2017		2567		3407
2018		2588		3434
2019		2609		3462
2020		2630		3489
2021		2651		3517
2022		2672		3545
2023		2693		3574
2024		2715		3602
2025		2736		3631
2026		2758		3660
2027		2780		3690
2028		2803		3719
2029		2825		3749
2030		2848		3779
2031	2870	2871	3799	3809
2032		2894		3839

2033		2917		3870
2034		2940		3901
2035		2964		3932
2036		2987		3964
2037		3011		3996
2038		3035		4027
2039		3060		4060
2040		3084		4092
2041		3109		4125
2042		3134		4158
2043		3159		4191
2044		3184		4225
2045		3210		4258
2046	3235	3235	4281	4293

Os gráficos seguintes demonstram a grande diferença de valores para a população, estimados de acordo com o projeto inicial e corrigidos na revisão de projeto de acordo com os Censos de 2011. É de salientar que no ano horizonte, a discrepância chega a ser de cerca de 1000 e 2000 habitantes, respectivamente nas bacias 2 e 10.

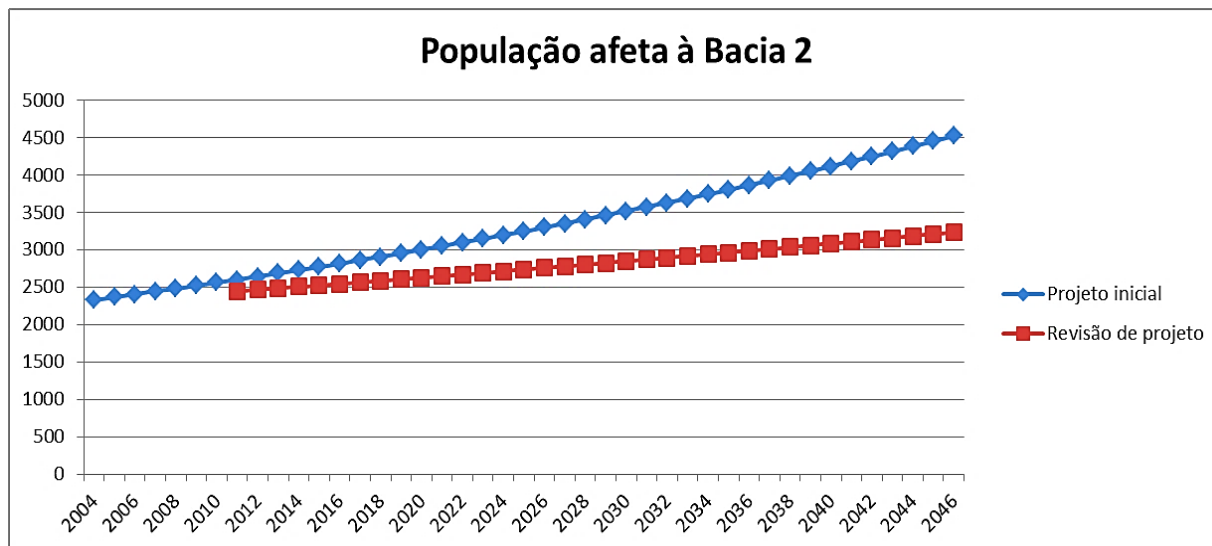


Figura 4.11 - Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das populações, para a Bacia 2

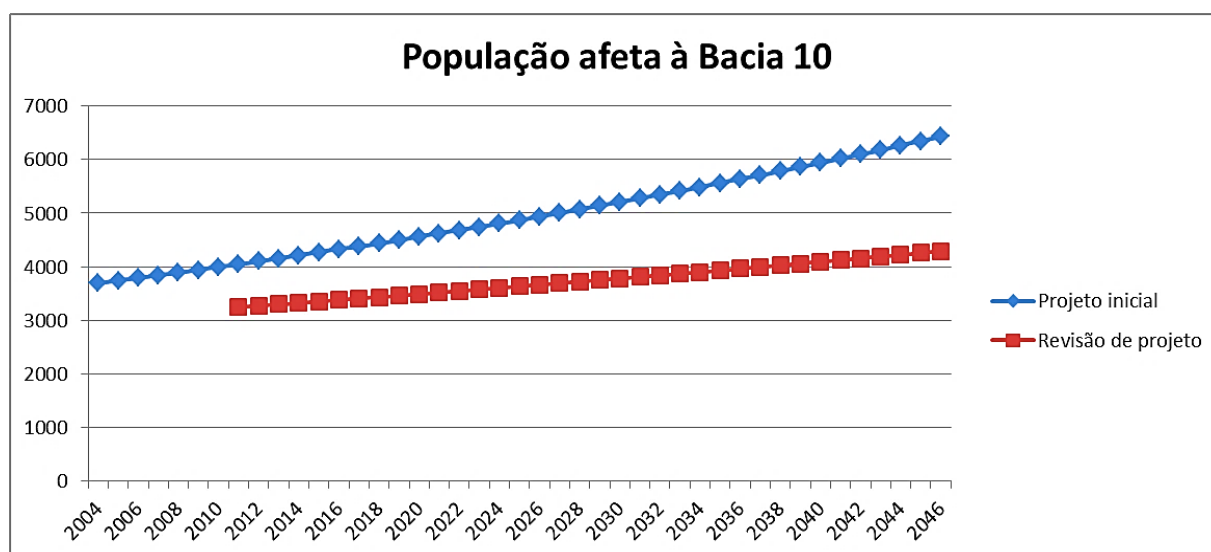


Figura 4.12 - Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das populações, para a Bacia 10

O valor da capitação foi igualmente reavaliado, do qual se obteve um valor inferior ao inicial. O projeto de reabilitação considera apenas 150 l/hab.dia no ano horizonte, face aos 190 l/hab.dia anteriores (ver Figura 4.13).

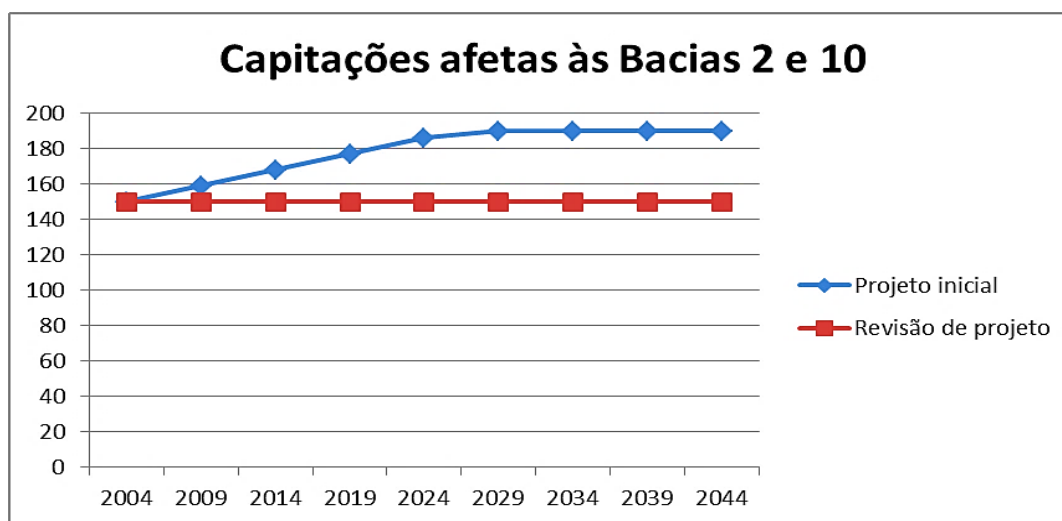


Figura 4.13 – Gráfico comparativo das curvas de progressão geométrica das capitações, iguais para a bacia 2 e para a bacia 10

A menor população e capitação registadas indiciam que os parâmetros de cálculo serão também eles menores, nomeadamente o volume de águas drenadas. Se as características instaladas em 2004 forem mantidas, é provável que se observe menores velocidades nas condutas elevatórias e uma reduzida frequência na afluência de caudal à ETAR, que se traduz num funcionamento deficiente. Estas razões foram então a motivação da AdG para lançar o concurso de reabilitação.

4.4.3 PROCEDIMENTO DE REABILITAÇÃO SUGERIDO PELA ENTIDADE CONCESSIONÁRIA

4.4.3.1 Conduta elevatória 2 (CE2)

A conduta elevatória 2 em PVC DN200 deverá ser remodelada pelo método de *Relining* através da instalação pelo seu interior de uma tubagem em PEAD PE100 PN10 DN160. A intervenção deve ser realizada pela seguinte ordem de trabalhos:

- a) Trabalhos preparatórios de construção civil
 - Escavação do fosso de ataque (estimativa de 2 unidades);
 - Corte, levantamento do pavimento e transporte a vazadouro autorizado (estimativa de 2 unidades);
 - Corte da conduta existente e fecho do troço não utilizado com poliuretano (estimativa de 2 unidades);
 - Reposição do pavimento asfáltico (estimativa de 2 unidades).

- b) Trabalhos na conduta elevatória
 - Fornecimento e passagem de conduta PEAD DN160 (PE100 PN10), em troços de 12 m soldadas topo a topo (procedimento que será explicado em 6.2.1.1);
 - Selagem da conduta existente (PVC DN200) envolvendo a nova conduta, com poliuretano (estimativa de 6 unidades);
 - Fornecimento e aplicação de espaçador universal módulo MIDI altura 25 mm c/fecho universal dois módulos = 160 mm (estimativa de 648 unidades);
 - Fornecimento e aplicação de fole de final de entubamento *casing* DN200 x 160 mm completo com abraçadeiras inox de aperto por parafuso para ambos os extremos (estimativa de 6 unidades);
 - Adaptação da câmara de transição;
 - Ensaio hidráulico à pressão de serviço da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações;
 - Ensaio de pressão a ar comprimido da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações;
 - Acompanhamento diário por parte da Polícia de Segurança Pública.

4.4.3.2 Conduta elevatória 10 (CE10)

A conduta elevatória 10 em PVC DN250 será remodelada pelo método de *Relining* através da instalação pelo seu interior de uma tubagem em PEAD PE100 PN10 DN180. A intervenção deverá ser realizada pela seguinte ordem de trabalhos:

- a) Trabalhos preparatórios de construção civil
 - Escavação do fosso de ataque (estimativa de 5 unidades);
 - Corte e levantamento de pavimento, incluindo transporte a vazadouro autorizado (estimativa de 5 unidades);
 - Corte da conduta existente e fecho do troço não utilizado com poliuretano (estimativa de 5 unidades);
 - Reposição do pavimento asfáltico, de acordo com as instruções da Infraestruturas de Portugal, SA (estimativa de 5 unidades).

b) Trabalhos na conduta elevatória

- Fornecimento e passagem de conduta PEAD DN180 (PE100 PN10), em troços de 12 m soldadas topo a topo;
- Selagem da conduta existente (PVC DN250) envolvendo a nova conduta, com poliuretano (estimativa de 10 unidades);
- Fornecimento e aplicação de espaçador universal módulo MIDI altura 25 mm c/fecho universal três módulos = 180 mm (estimativa de 1350 unidades);
- Fornecimento e aplicação de fole de final de entubamento *casing* DN250 x 180 mm completo com abraçadeiras inox de aperto por parafuso para ambos os extremos (estimativa de 10 unidades);
- Adaptação da câmara de transição;
- Ensaio hidráulico à pressão de serviço da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações;
- Ensaio de pressão a ar comprimido da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações;
- Acompanhamento diário por parte da Polícia de Segurança Pública.

Na reposição do pavimento da estrada nacional, deve ser considerada uma sobrelargura para cada lado da área de intervenção de 5 m de reposição. Após a fresagem, as camadas a repor incluem:

- *Tout-venant* de primeira, na espessura necessária;
- Camada de ligação em mistura betuminosa densa (*binder*) com a espessura mínima de 0,10 m, após compactação, antecedida de rega de impregnação;
- Camada de desgaste em mistura betuminosa AC 14 surf.ligante (BB), numa largura superior à escavação, após a fresagem do pavimento existente e contíguo, com espessura mínima de 0,05 m, após compactação, garantindo-se a reposição do perfil da estrada existente, antecedido de rega de colagem.

4.4.4 PROJETO DE REABILITAÇÃO CONSIDERADO NO DESENVOLVIMENTO DESTA DISSERTAÇÃO

O concurso da “Remodelação de condutas elevatórias de águas residuais pelo método de *Relining*” terminou em Maio de 2016. Esta data, muito próxima do prazo para término da presente tese, frisa a necessidade que houve em estabelecer-se uma relação de proximidade com a EcoReferência, S.A., uma das empresas a concurso, de modo a ser possível o acesso aos seus procedimentos dentro do prazo estabelecido.

Por essa razão, e uma vez que o que se pretende não é uma análise do produto final real mas sim uma comparação objectiva entre dois tipos de procedimentos, o desenvolvimento do caso de estudo desta dissertação terá como base a proposta que foi feita pela empresa EcoReferência, S.A..

A EcoReferência, S.A. é uma pequena empresa estabelecida no mercado nacional desde 2009, na área da intervenção em sistemas de drenagem e de abastecimento, sem abertura de vala. Cumprem objectivos desde a simples limpeza, à inspecção, passando pela avaliação do estado da conduta, e têm competência e experiência em trabalhos de reabilitação, dentro e fora de Portugal. [22] Os cálculos dos profissionais da EcoReferência, S.A. têm como base o cumprimento da Norma EN805 em redes de abastecimento e NPEN001610_2008 nas redes de saneamento.

4.4.5 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA ECOREFERÊNCIA, S.A.

A tubagem a aplicar em ambos os diâmetros deverá ser fabricada em PEAD PE100 que, de acordo com a norma EN12201-2 “*Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure - Polyethylene (PE) - Part 2: Pipes*”, garante uma pressão máxima de serviço de 10 bar durante uma vida útil de 50 anos, a uma temperatura de 20°C.

Tal como sugerido no programa do concurso, a tubagem será soldada em obra pelo método de soldadura topo a topo (ver 4.4.5.1), por um soldador reconhecido, como assim o exige a norma DVS 2207. O índice de resistência nas soldaduras pretende-se igual à resistência da tubagem, ou seja, índice de valor 1.

A inserção da nova tubagem deverá ser feita em dois troços, e rebocada usando a força máxima de 50% da tensão de cedência de cada tubagem. A nova conduta deverá estar munida de espaçadores plásticos de alta resistência ao desgaste por abrasão e distanciados de 2 em 2 metros entre si.

A ligação dos dois tramos rebocados chegados ao ponto de encontro será feita com a utilização de um troço de ligação e utilizando duas uniões. A selagem dos pontos abertos da conduta existente com a nova conduta será feita com a utilização de foles estanques.

A existência de curvas acentuadas e de grandes extensões das tubagens a reabilitar, levou a EcoReferência, S.A. a propor 7 poços de ataque distribuídos pelas duas condutas elevatórias, cuja localização e enumeração dos 7 pontos se encontra na Figura 4.14.

- Nos pontos 1, 3, 4, 5 e 7 serão executados poços de ataque com as dimensões de 2m x 6m em planta e profundidade até à tubagem existente. Estes poços possibilitarão a introdução da nova tubagem na existente, por reentubamento, após soldaduras topo a topo no comprimento necessário.
- Nos pontos 2 e 6 assinalados nas plantas, será aberto um acesso à tubagem para colocação de curva a definir, através de uniões electrosoldáveis (ver 4.4.5.2).
- Nos pontos 5, 6 e 7, da CE10, o material resultante da escavação dos poços de ataque irá para vazadouro, uma vez que se trata de uma estrada nacional e existe a imposição de aterrar a vala com tout-venant, compactado por camadas. Nos restantes poços, o material proveniente da escavação será reutilizado no aterro dos poços de ataque.



Figura 4.14 – Mapas com a localização das CE2 e CE10, respectivamente da esquerda e direita, onde estão identificados os 7 poços de ataque propostos pela EcoReferência, S.A.

Após o fecho dos poços de ataque, serão repostos os pavimentos finais. Na EN108, será fresado o pavimento nas zonas dos poços de ataque e até 5m para cada lado, a toda a largura da faixa de rodagem. Nas estradas camarárias, serão repostos os pavimentos existentes em cubo. A figura seguinte ilustra dois exemplos de poços de ataque em obras semelhantes.



Figura 4.15 – Exemplos de abertura de poços de ataque e da sua estanquidade [43]

4.4.5.1 Soldadura topo a topo

Este procedimento é adicional às técnicas de reabilitação. Consiste num método mecânico de união de condutas para aumentar a sua extensão conjunta, ou para a construção de acessórios de curvatura. Em tubagens PEAD, é aplicado a diâmetros superiores a 90 mm, em troços que são sujeitos ao aquecimento dos seus extremos até ocorrer a fusão das superfícies de contacto, resultando uma saliência na junta.

As variáveis do processo são a temperatura, a pressão e o tempo, que devem ser ajustadas de modo a impedir a alteração das propriedades físicas originais do material, em conformidade com a matéria-prima, o diâmetro e a espessura da parede do tubo. Neste processo de soldadura, é importante garantir o perfeito alinhamento entre os tubos a soldar e a rectificação do perímetro da zona a soldar, para se obter uma superfície isenta de resíduos. [44] Na Figura 4.16 (a, b, c, d, e, f) estão representadas as fases do sistema de soldadura topo a topo, para uma melhor compreensão do mesmo.

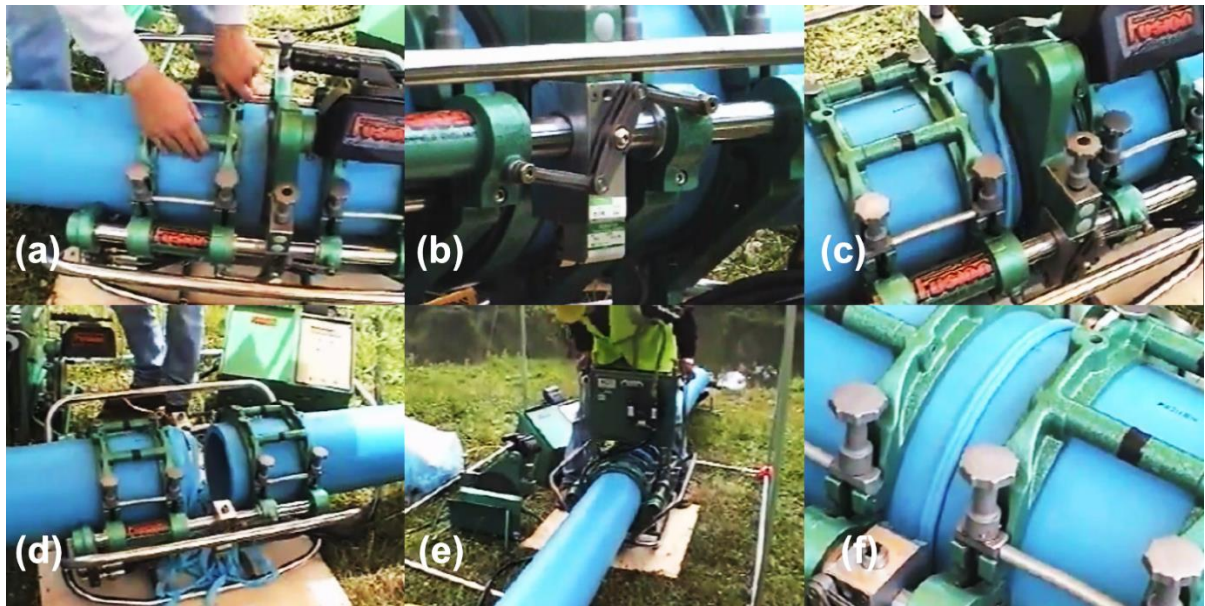


Figura 4.16 – Procedimentos da soldadura topo a topo, divididos em 6 fases (Adaptado de [45])

- (a) Colocação e ajuste das tubagens novas no equipamento de soldadura;
- (b) Aproximação de ambas as extremidades ao centro, ajustando-as à lâmina central que irá rectificar a superfície extrema da conduta, de modo a obter-se uma melhor aderência do procedimento;
- (c) Retificação do topo das condutas, por meio de um disco cortante giratório a alta velocidade;
- (d) Separação das tubagens e limpeza dos resíduos, isto é, eliminação das tiras laminadas nos topos;
- (e) Colocação do equipamento de soldadura no meio dos topos da tubagem, ajustando-os ao centro e dando início ao aquecimento da tubagem, por ciclos de pressão e temperatura, em condições específicas controladas pelo técnico;
- (f) Fim do procedimento quando se verificar a obtenção de uma conduta unida por soldadura, pela formação de um cordão uniforme sobre todo o perímetro soldado.

4.4.5.2 Eletrosoldadura

O procedimento de electrosoldadura tem a mesma função do que a soldadura topo a topo: unir duas peças de tubagem pelas suas extremidades. Enquanto na técnica anterior o resultado provinha de ciclos de temperatura e pressão, este procedimento decorre através de acessórios com resistências eléctricas que contactam e unem a tubagem pelo exterior.

As resistências eléctricas aquecem quando sujeitas a tensão eléctrica, fundindo o material tanto do acessório como da tubagem de forma homogénea. O processo de ligação mediante a técnica de electrosoldadura é simples, rápido e eficiente. Podem efectuar-se ligações com uma preparação mínima, mas as superfícies a unir devem encontrar-se totalmente secas. É recomendável utilizar posicionadores que fixam o tubo e que minimizam o risco de um movimento accidental, ao mesmo tempo que alinham correctamente os tubos.

Após o arrefecimento, estes materiais solidificam dando-se a soldadura dos mesmos. Na figura 4.17, representa-se por fases o procedimento de electrossoldadura.

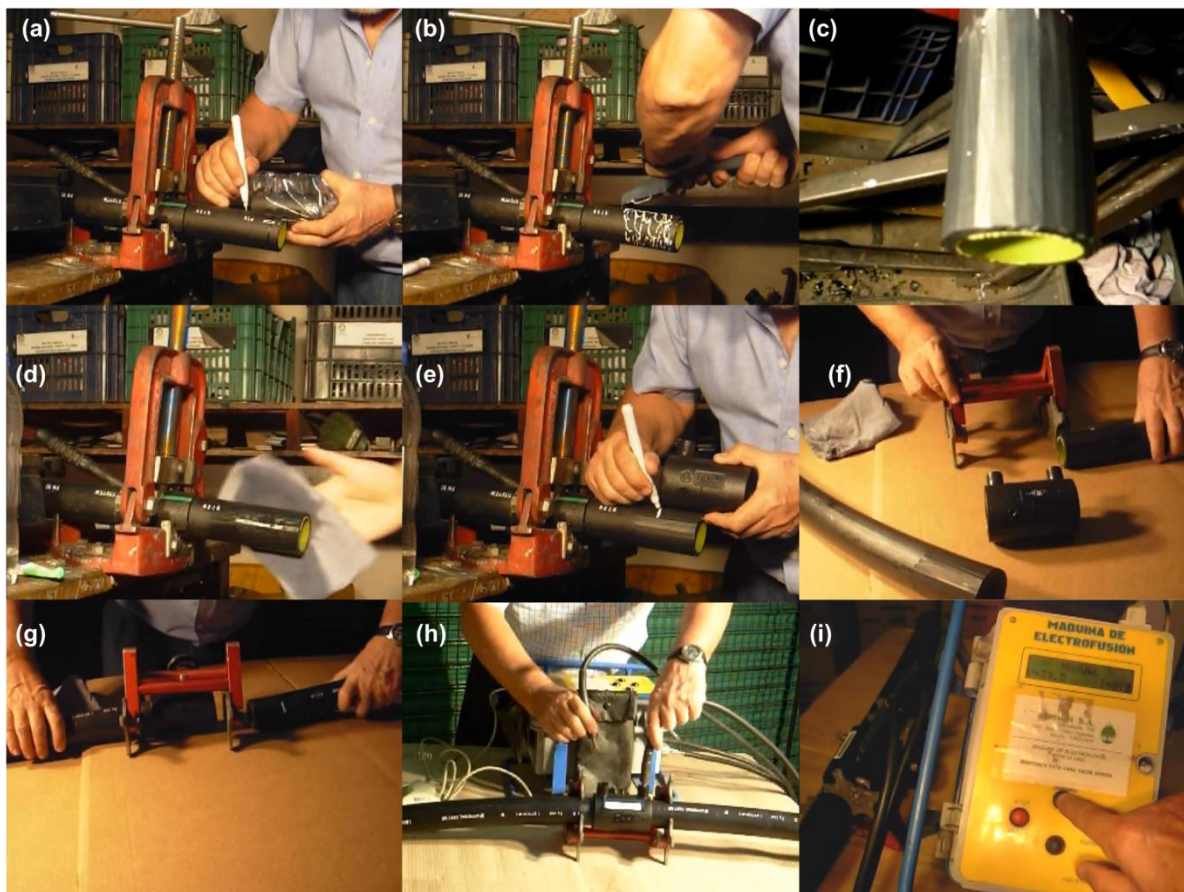


Figura 4.17 - Procedimentos da eletrosoldadura, divididos em 9 fases (Adaptado de [46])

(a), (b) e (c) Marcação do comprimento na extremidade da tubagem que irá ficar em contacto com o elemento de ligação e respectiva preparação dessa área, ou seja, com uma espécie de navalha (equipamento próprio) raspar a superfície das extremidades medidas;

- (d) Limpeza das extremidades laminadas com álcool ou acetona;
- (e) Remarcação mais pormenorizada da área de contacto exacta com o elemento de ligação;
- (f) e (g) Montagem dos dois troços de tubagem com a peça intermédia, posicionadas no equipamento de estabilização da soldadura;
- (h) e (i) Ligação das resistências eléctricas e controlo do procedimento por máquinas próprias, cujos dados podem ser inseridos por registo manual ou por leitura do código inscrito no material das peças.

4.5 REVISÃO DO PROJETO (2016)

4.5.1 DRENAGEM GRAVÍTICA

Os caudais de projeto, estabelecidos para o ano horizonte (agora 2046), foram recalculados. Os documentos da revisão de projeto tiveram em conta os seguintes aspectos:

- Os consumos domésticos, comerciais e industriais, foram afetados de um coeficiente de afluência à rede de 80%;
- Nos períodos de maior consumo (e maior descarga) foi usado um fator de ponta, de acordo com o Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto.
- A entrada de caudais na rede pode ocorrer de forma indevida, por exemplo, infiltrações ou ligações clandestinas. Esse motivo levou a que fosse considerada a contribuição de caudais infiltrados no valor de 30% dos caudais médios diários de águas residuais.

Quadro 4.12 - Valores de caudais e volumes afluentes às EE2 e EE10, ao longo da sua vida útil [40]

	Sistema Santiago (100%)			EE2 (66.3%)			EE10 (87.8%)		
Ano	2016	2031	2046	2016	2031	2046	2016	2031	2046
Pop. total (hab)	3841	4329	4878	2547	2870	3235	3372	3801	4283
Capitação (l/hab.dia)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Factor afluência	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Vmda drenagem (m ³ /d)	460.9	519.5	585.4	305.6	344.4	388.2	404.7	456.1	514.0
Vmda, indevidos (m ³ /d)	138.3	155.8	175.6	91.68	103.3	116.5	121.4	136.8	154.2
Vmda total (m ³ /d)	599.2	675.3	761.0	397.3	447.7	504.7	526.1	592.9	668.1
Fator de ponta	2.5	2.4	2.4	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4
Qponta (l/s)	14.8	16.3	18.0	10.6	11.6	12.8	13.3	14.6	16.2

O caudal de cálculo será então o afluente multiplicado por um factor de segurança de 1.2.

- Caudal afluente à EE2 = 12.8 l/s, logo o caudal de cálculo = 15.4 l/s
- Caudal afluente à EE10 = 16.2 l/s, logo o caudal de cálculo = 19.4 l/s

4.5.2 GRUPOS ELECTROBOMBA

O estabelecimento de novos objectivos hidráulicos trouxe diversos ajustes à rede que tinha sido estabelecida em 2004. A seleção dos grupos electrobomba feita em 2004 foi considerada inapropriada ao novo projecto, razão pela qual a entidade AdG propôs novos equipamentos e respectivos novos resultados de funcionamento, apresentados de seguida nos Quadros 4.13 e 4.14.

Quadro 4.13 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE2, segundo a revisão de projecto de 2016

	Características	Ano Horizonte
Modelo	SEV 80 80 75 2 51D	-
	Velocidade de rotação	2940 rpm
Funções requeridas	Caudal pretendido	15.40 l/s
	Altura estática	10.8 m
	Altura manométrica	16.0 m
Desempenho da bomba (ponto óptimo da instalação)	Caudal bombado	16.3 l/s
	Altura manométrica	16.6 m
	Potência absorvida	8.9 kW
	Potência útil	7.5 kW
	Eficiência da bomba	36.4 %
	Rendimento do grupo	30.8 %

Quadro 4.14 - Tabela com as características da bomba a instalar na EE10, segundo a revisão de projecto de 2016

	Características	Ano Horizonte
Modelo	SLV 80 80 150 2 52H S N 51D	-
	Velocidade de rotação	2947 rpm
Funções requeridas	Caudal pretendido	19.4 l/s
	Altura estática	17.45 m
	Altura manométrica	28 m
Desempenho da bomba (ponto óptimo da instalação)	Caudal bombado	20 l/s
	Altura manométrica	28.6 m
	Potência absorvida	17 kW
	Potência útil	15 kW
	Eficiência da bomba	40.3 %
	Rendimento do grupo	35 %

4.5.3 CONDUTAS ELEVATÓRIAS CE2 E CE10

Os elementos CE2 e CE10, como referido anteriormente, são o foco da intervenção no caso de estudo da presente dissertação. As propriedades das conduitas reabilitadas deverão manter-se semelhantes às instaladas em 2004, alterando-se no entanto os diâmetros e o material que passará a ser PEAD PE100 PN10.

Mantendo as restantes características da CE2 constantes, estão referidos de seguida os parâmetros que sofreram alteração com a implementação da nova conduta, e que interessam ao cálculo:

- O diâmetro comercial é o DN160, equivalente a 141,00 mm de diâmetro interior;
- O caudal de cálculo corresponde ao caudal obtido no ponto óptimo do sistema bomba + instalação no ano horizonte, ou seja, considerar-se-á 16,3 l/s em conformidade com o Quadro 5.2 (“Tabela com as características da bomba a instalar na EE2, segundo a revisão de projecto de 2016”);
- A rugosidade da conduta considerada nestes cálculos é de 0.04 mm, como indicado no quadro em Anexo.

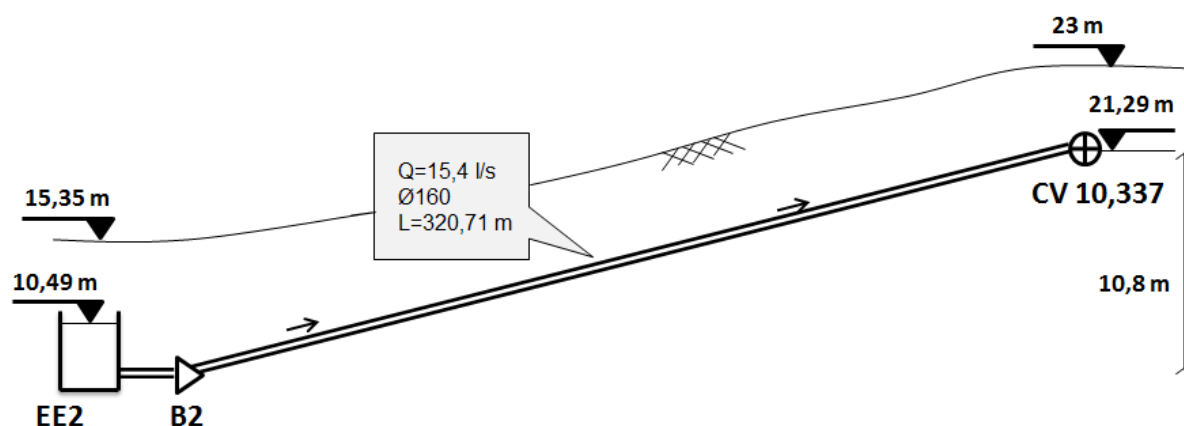


Figura 4.18 – Esquema esboçado da CE2 com as novas características de 2016

A análise da CE10 decorre de igual modo da CE2, uma vez que o objectivo de verificar os cumprimentos técnicos é mútuo. Assim, estão apontadas de seguida as características da conduta alteradas durante o procedimento. Logo depois, encontra-se um esboço do esquema da CE10.

- O material da tubagem é o PEAD PE100 PN10;
- O diâmetro comercial é o DN200, cujo diâmetro interior corresponde a 108,80 mm;
- O caudal de cálculo corresponde ao caudal obtido no ponto óptimo do sistema bomba + instalação no ano horizonte, ou seja são 20,0 l/s como se pode observar pelo Quadro 5.3 (“Tabela com as características da bomba a instalar na EE10, segundo a revisão de projecto de 2016”);
- A rugosidade da conduta considerada foi de $k=0,04$ mm, de acordo com a tabela em Anexo.

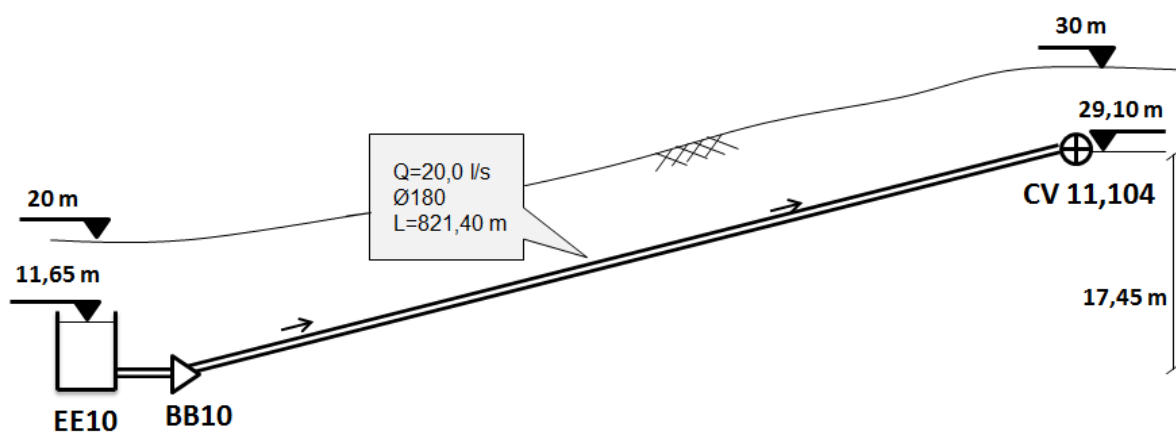


Figura 4.19 - Esquema esboçado da CE2 com as novas características de 2016

5

ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma vez instituídos todos os parâmetros, este capítulo tem como objetivo passar ao cálculo de dois grandes assuntos.

Primeiramente, e para cada um dos projectos inicial e de revisão, foram estimados os custos que o sistema teria se fosse colocado em funcionamento. Para isso, calcularam-se os custos de energia em ambos os momentos referidos, com o objetivo último da comparação das soluções “reabilitada” e “não reabilitada”, razão pela qual os gastos fiscais, com pessoal e de manutenção habitual não têm interesse relevante ao caso em estudo porque seriam uma despesa semelhante em ambos os casos.

A segunda grande temática considera a opção de reabilitação como garantida, e compara então a diferença económica entre um investimento na reabilitação pelo método tradicional e pelo método sem abertura de vala. A Figura 5.1 resume por meio de esquema as duas abordagens deste capítulo.

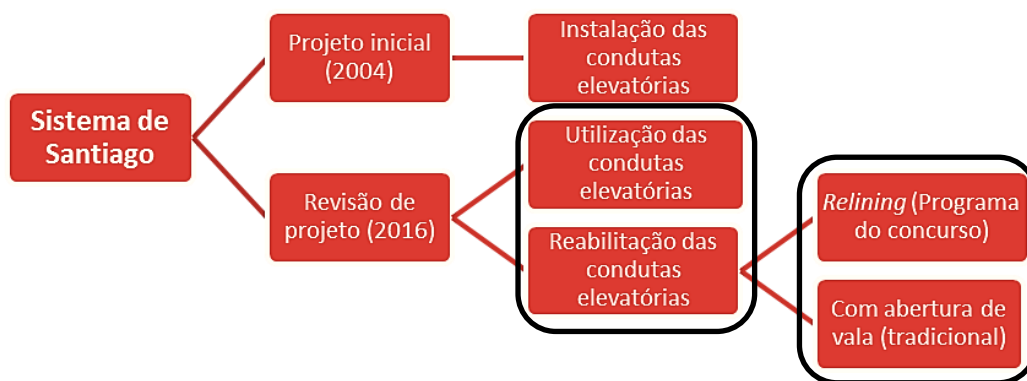



Figura 5.1 – Esquema elucidativo dos dois grandes cálculos que serão elaborados

5.2 FUNCIONAMENTO PRETENDIDO NO PROJECTO DE 2004

5.2.1 DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS DE BOMBAGEM

O funcionamento do sistema é constituído pelo desempenho da bomba instalada em conjunto com as características da conduta elevatória. Nesse âmbito, foram realizados os gráficos Caudal bombado/Altura manométrica, com o apoio dos programa de cálculo online da Grundfos, onde se estabeleceram os pontos óptimos de funcionamento, que consistem na intersecção das Curvas Características das Bombas (CCB) com as Curvas Características das Instalações (CCI).

	S1-104-AH1		Curve no:	945336	
	Project Ref EE2SAN1ªFASE		Pn	10 kW	
			Nn	1456 1/min	
	REQUIRED DUTY		PUMP DUTY POINT DATA		
	Flow	29.8 l/sec	Flow	36.4 l/sec	P (pump)
Head	14.4 m	Head	16.0 m	Eff (pump)	71.5 %
		Energy	73.8 kWh/1000m3	P (gr)	9.7 kW
				Eff (gr)	59.2 %

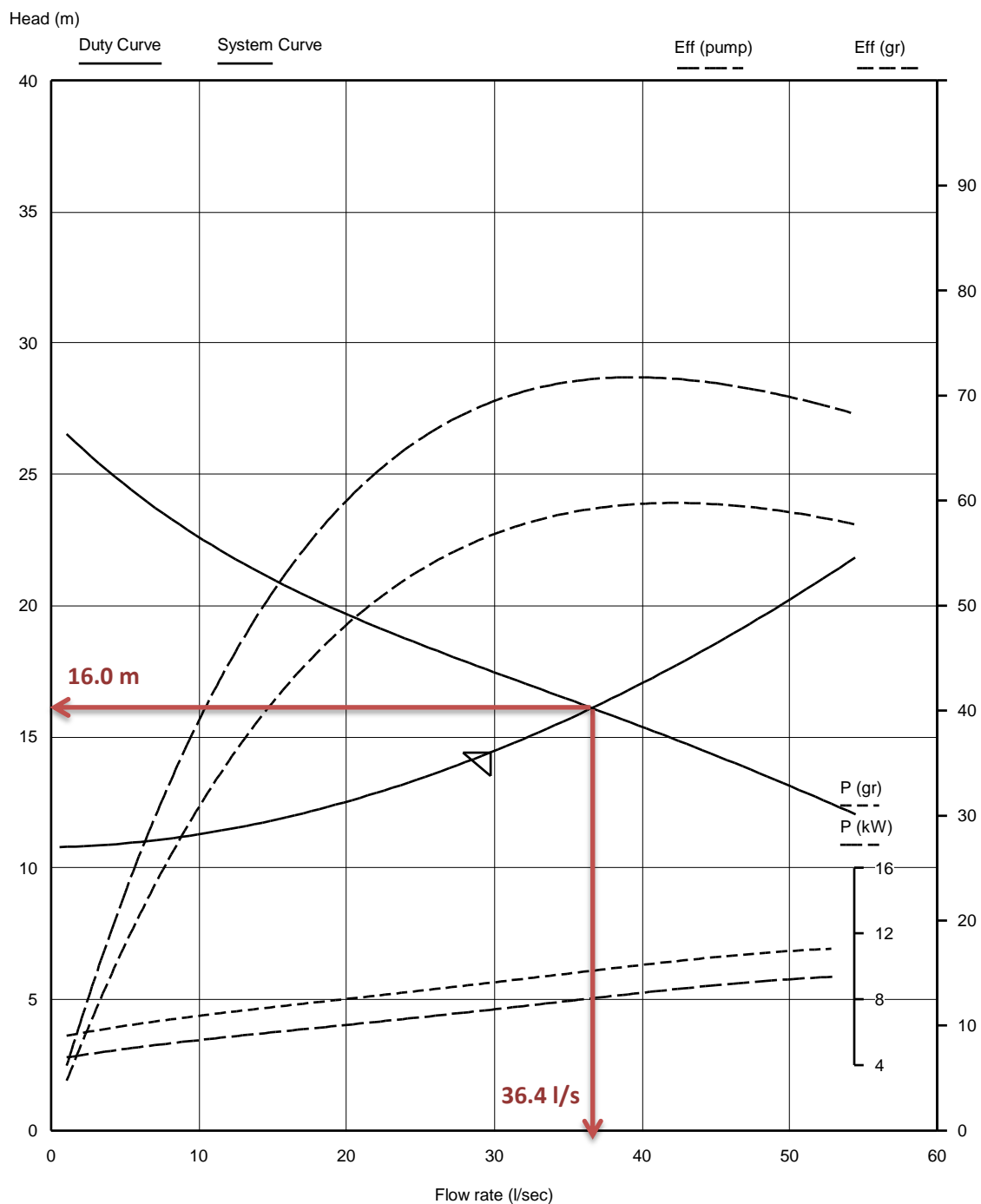



Figura 5.2 - CCI e CCB da bomba2 na 1ªfase (desde 2004 a 2024), do projecto de 2004

	S1-104-AH1		Curve no:	945336	
	Project Ref EE2SAN2ªFASE		Pn	10 kW	
			Nn	1456 1/min	
	REQUIRED DUTY		PUMP DUTY POINT DATA		
	Flow	38.7 l/sec	Flow	36.6 l/sec	
	Head	16.8 m	Head	16.2 m	
		Energy	74.7 kWh/1000m3	P (pump)	8.13 kW
				Eff (pump)	71.6 %
				P (gr)	9.8 kW
				Eff (gr)	59.2 %

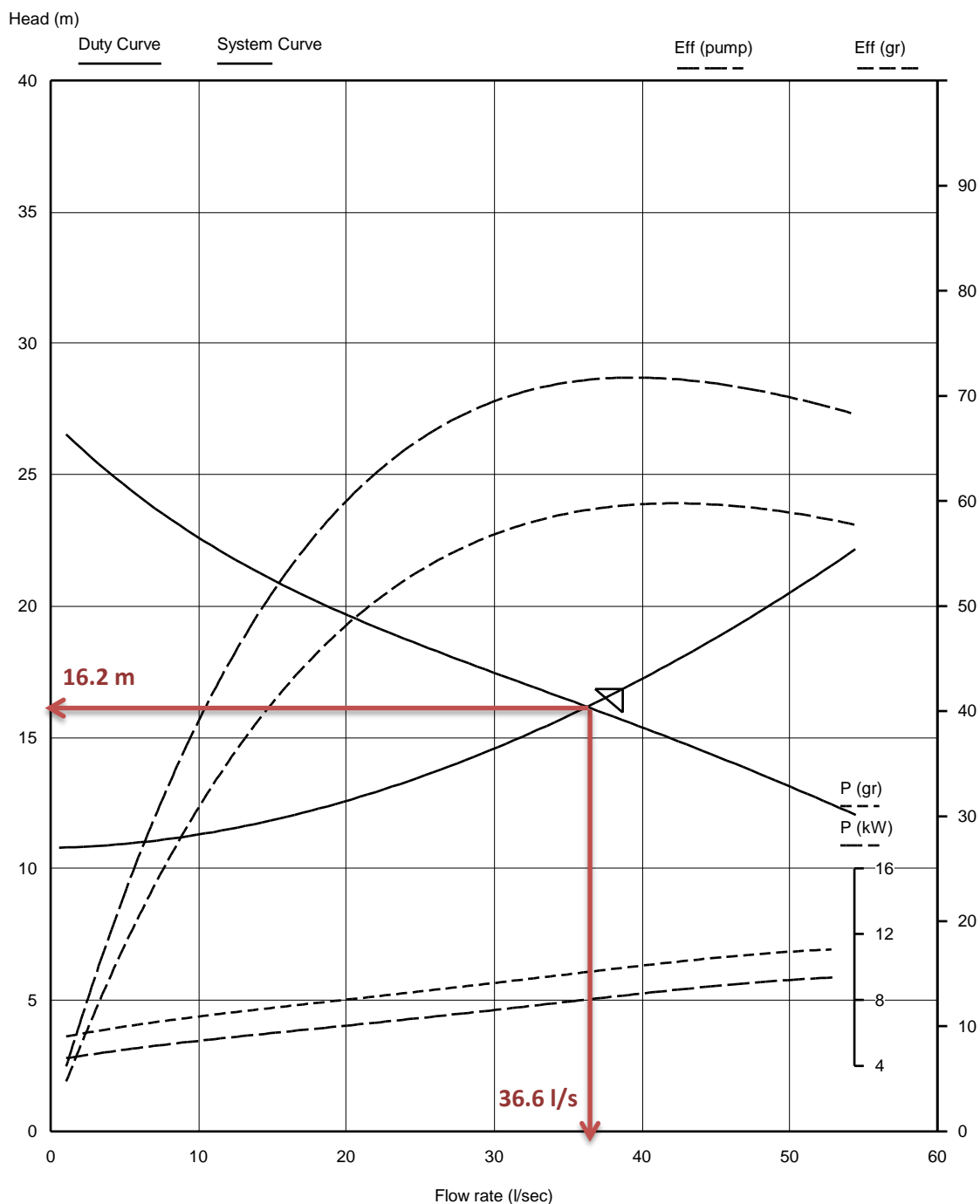



Figura 5.3 - CCI e CCB da bomba2 na 2ªfase (desde 2025 a 2044), do projecto de 2004

	S1A-174-AH1		Curve no: 941470
	Project Ref EE10SAN1ªFASE		Pn 17 kW
			Nn 1455 1/min
REQUIRED DUTY		PUMP DUTY POINT DATA	
Flow	38.0 l/sec	Flow	42.8 l/sec
Head	22.4 m	Head	23.6 m
		Energy	106 kWh/1000m3
		P (pump)	14.2 kW
		Eff (pump)	69.8 %
		P (gr)	16.4 kW
		Eff (gr)	60.4 %

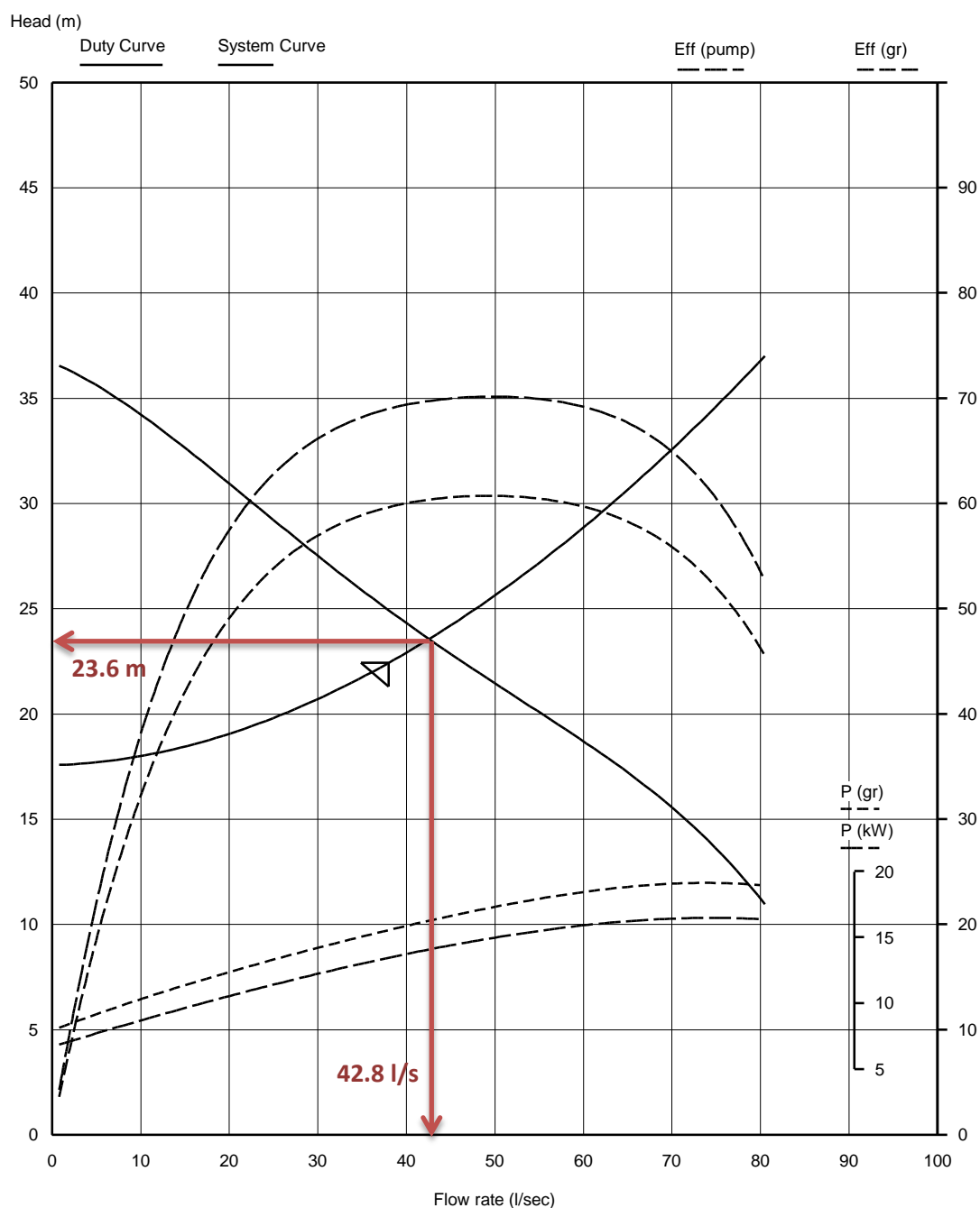



Figura 5.4 - CCI e CCB da bomba10 na 1ªfase (desde 2004 a 2024), do projecto de 2004

	S1A-224-H1		Curve no:	941229	
	Project Ref EE10SAN2ªFASE		Pn	22 kW	
			Nn	1458 1/min	
	REQUIRED DUTY		PUMP DUTY POINT DATA		
	Flow	48.8 l/sec	Flow	52.1 l/sec	P (pump)
Head	25.2 m	Head	26.3 m	Eff (pump)	69.8 %
		Energy	114 kWh/1000m3	P (gr)	21.4 kW
				Eff (gr)	62.7 %

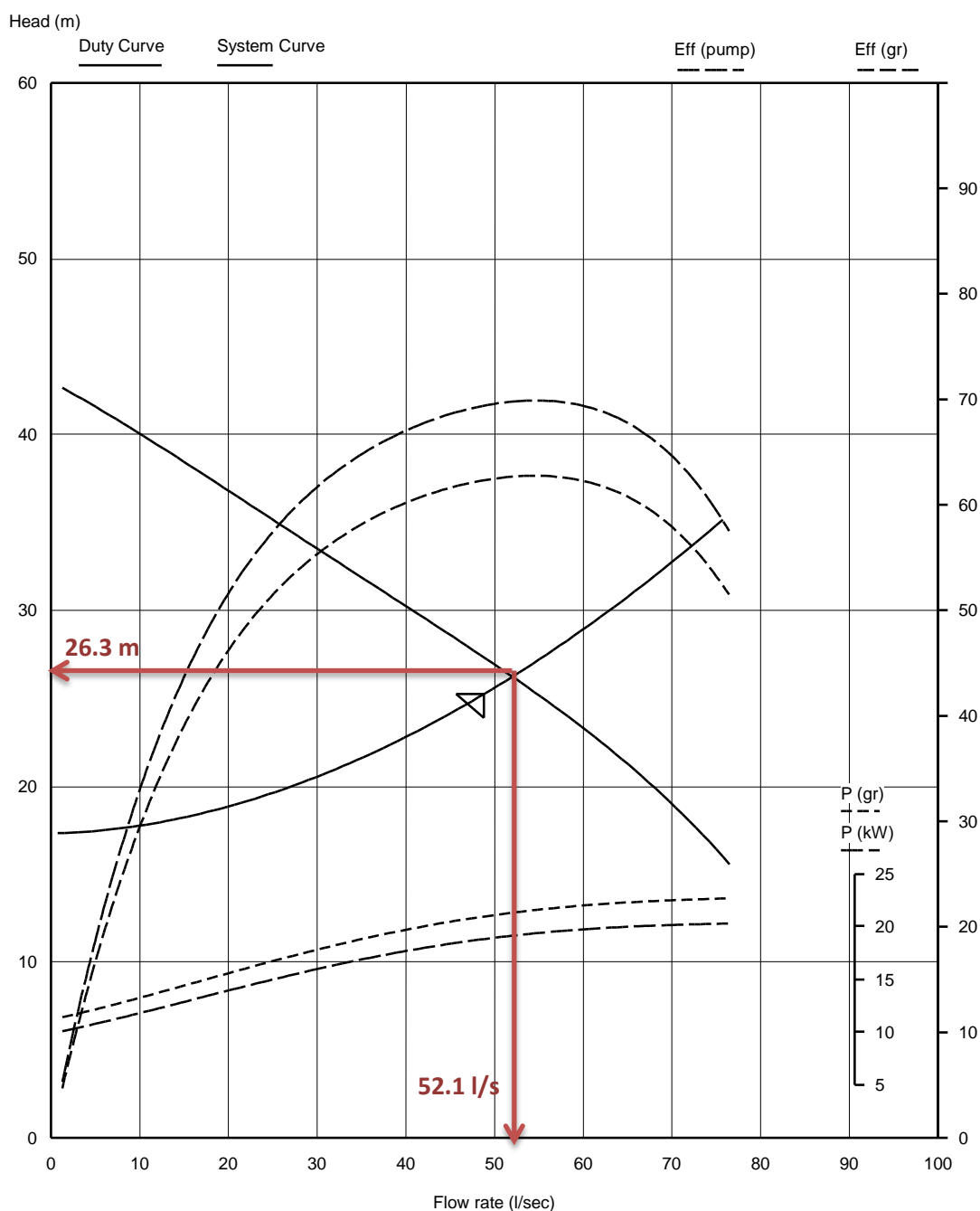


Figura 5.5 - CCI e CCB da bomba10 na 2ªfase (desde 2025 a 2044), do projecto de 2004

Analizados os gráficos e definidos os caudais e alturas de bombagem, segue-se a análise económica do projecto. O volume de água residual bombado acarreta gastos da energia consumida pela bomba, que cabe ao dono de obra ou ao concessionário sustentar durante a vida útil das estruturas.

5.2.2 ANÁLISE DE CUSTOS ENERGÉTICOS

Nesta análise, os cálculos têm como base 28 anos, desde 2016 até 2044. Esta correcção temporal deve-se ao funcionamento do sistema decorrer, hipoteticamente, a partir de 2016.

A determinação dos gastos de energia provém da obtenção da potência multiplicada pelo tempo de bombagem. Por sua vez, o tempo de bombagem é estimado com as condições de bombagem: o caudal e o volume do poço de bombagem, determinando então as horas de bombagem quer diárias, quer médias anuais.

A potência do sistema elevatório é definida pelo caudal bombado, a altura elevada e o rendimento do grupo, como demonstra a expressão (5.1.).

$$P = \frac{\gamma \times H \times Qb}{\eta} \quad (5.1.)$$

$$E = P \times \Delta t = \frac{\gamma \times H \times Qb \times \Delta t}{\eta} \quad (5.2.)$$

Embora o tarifário de energia eléctrica seja variável com diferentes factores (como a hora do dia, a potência instalada, o fornecedor, etc), a análise económica pode ser feita com base numa média desses valores. O custo unitário de energia em cada projecto deverá ser o valor mais actual possível, no presente ano de 2016 por exemplo, o valor médio a considerar é cerca de 0.08 €/kWh para o primeiro ano de exploração da obra.

A taxa de inflação (T_i) atua sobre este preço e faz aumentar anualmente o custo unitário da energia. É calculada pela expressão (5.3), onde Ano, i é o ano em estudo. Também o valor total gasto em energia deve ser refinado pela taxa de amortização (T_a). Esta taxa varia consoante o período de análise em causa pelo que se deve aplicar a taxa mais actual possível, calculando-a pela expressão (5.4.).

$$\left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right)_i = 0.08 \times (1 + T_i)^{\text{Ano},i-2016} \quad (5.3.)$$

$$\left(\frac{\text{€ amortizado}}{\text{ano}}\right)_i = \frac{\left(\frac{\text{€}}{\text{ano}}\right)_i}{(1 + T_a)^{\text{Ano},i-2016}} \quad (5.4.)$$

O custo unitário de energia considerado foi de 0.08€ no ano inicial, como verificado nos documentos actualizados a 2016. No cálculo interanual, foram admitidas as taxas de inflação média de 1,5% e a taxa de amortização 4%.

Quadro 5.1 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE2, com o projecto inicial

Ano	Vmda (m ³)	Qb (l/s)	ΔT bomb dia (h)	ΔT bomb ano (h)	Hb (m)	η (%)	P(kW)	E anual (kWh)	Custo unit (€/kWh)	Custo anual (€/ano)	Custo amortiz. (€/ano)
2016	484	36.4	3.7	1347.5	16.0	59.20	9.651	13004	0.08	1040.34	1040.34
2017	496	36.4	3.8	1382.3	16.0	59.20	9.651	13340	0.08	1083.23	1041.56
2018	509	36.4	3.9	1416.9	16.0	59.20	9.651	13674	0.08	1127.02	1041.99
2019	521	36.4	4.0	1451.8	16.0	59.20	9.651	14011	0.08	1172.10	1041.99
2020	534	36.4	4.1	1487.0	16.0	59.20	9.651	14351	0.08	1218.50	1041.58
2021	547	36.4	4.2	1522.4	16.0	59.20	9.651	14692	0.09	1266.23	1040.75
2022	559	36.4	4.3	1558.0	16.0	59.20	9.651	15036	0.09	1315.32	1039.51
2023	572	36.4	4.4	1593.4	16.0	59.20	9.651	15377	0.09	1365.33	1037.54
2024	585	36.4	4.5	1628.9	16.0	59.20	9.651	15720	0.09	1416.71	1035.17
2025	598	36.6	4.5	1655.5	16.2	59.20	9.825	16265	0.09	1487.82	1045.33
2026	610	36.6	4.6	1691.1	16.2	59.20	9.825	16615	0.09	1542.64	1042.15
2027	623	36.6	4.7	1726.3	16.2	59.20	9.825	16962	0.09	1598.38	1038.28
2028	636	36.6	4.8	1762.1	16.2	59.20	9.825	17313	0.10	1656.02	1034.35
2029	649	36.6	4.9	1797.5	16.2	59.20	9.825	17661	0.10	1714.59	1029.74
2030	662	36.6	5.0	1832.9	16.2	59.20	9.825	18009	0.10	1774.57	1024.77
2031	674	36.6	5.1	1868.3	16.2	59.20	9.825	18356	0.10	1835.96	1019.44
2032	687	36.6	5.2	1903.6	16.2	59.20	9.825	18704	0.10	1898.77	1013.77
2033	700	36.6	5.3	1938.9	16.2	59.20	9.825	19050	0.10	1962.99	1007.75
2034	713	36.6	5.4	1974.1	16.2	59.20	9.825	19396	0.10	2028.61	1001.38
2035	725	36.6	5.5	2008.7	16.2	59.20	9.825	19736	0.11	2095.08	994.42
2036	738	36.6	5.6	2043.6	16.2	59.20	9.825	20079	0.11	2163.48	987.39
2037	750	36.6	5.7	2077.8	16.2	59.20	9.825	20415	0.11	2232.68	979.78
2038	763	36.6	5.8	2112.3	16.2	59.20	9.825	20754	0.11	2303.80	972.10
2039	775	36.6	5.9	2146.0	16.2	59.20	9.825	21085	0.11	2375.66	963.87
2040	787	36.6	6.0	2179.9	16.2	59.20	9.825	21418	0.11	2449.41	955.57
2041	799	36.6	6.1	2213.0	16.2	59.20	9.825	21743	0.12	2523.84	946.73
2042	811	36.6	6.2	2246.2	16.2	59.20	9.825	22069	0.12	2600.11	937.83
2043	823	36.6	6.2	2278.9	16.2	59.20	9.825	22391	0.12	2677.59	928.63
2044	834	36.6	6.3	2310.7	16.2	59.20	9.825	22703	0.12	2755.61	918.93
TOTAL										29 202.64 €	

Quadro 5.2 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE10, com o projeto inicial

Ano	Vmda (m ³)	Qb (l/s)	ΔT bomb dia (h)	ΔT bomb ano (h)	Hb (m)	η (%)	P (kW)	E anual (kWh)	Custo unit (€/kWh)	Custo anual (€/ano)	Custo amortiz. (€/ano)
2016	743	42.8	4.8	1759.2	23.6	60.40	16.405	28861	0.08	2308.86	2308.86
2017	760	42.8	4.9	1799.7	23.6	60.40	16.405	29525	0.08	2397.43	2305.22
2018	777	42.8	5.0	1840.3	23.6	60.40	16.405	30191	0.08	2488.25	2300.52
2019	794	42.8	5.2	1881.3	23.6	60.40	16.405	30864	0.08	2581.91	2295.31
2020	811	42.8	5.3	1921.6	23.6	60.40	16.405	31524	0.08	2676.71	2288.07
2021	828	42.8	5.4	1962.3	23.6	60.40	16.405	32192	0.09	2774.40	2280.36
2022	846	42.8	5.5	2003.0	23.6	60.40	16.405	32860	0.09	2874.42	2271.69
2023	863	42.8	5.6	2043.2	23.6	60.40	16.405	33520	0.09	2976.15	2261.63
2024	879	42.8	5.7	2083.4	23.6	60.40	16.405	34179	0.09	3080.20	2250.67
2025	896	52.1	4.8	1744.4	26.3	60.40	22.255	38823	0.09	3551.14	2494.99
2026	913	52.1	4.9	1777.3	26.3	60.40	22.255	39554	0.09	3672.30	2480.87
2027	930	52.1	5.0	1810.1	26.3	60.40	22.255	40283	0.09	3796.06	2465.85
2028	947	52.1	5.0	1842.3	26.3	60.40	22.255	41000	0.10	3921.65	2449.45
2029	963	52.1	5.1	1874.8	26.3	60.40	22.255	41722	0.10	4050.59	2432.68
2030	980	52.1	5.2	1906.7	26.3	60.40	22.255	42433	0.10	4181.32	2414.61
2031	996	52.1	5.3	1938.4	26.3	60.40	22.255	43138	0.10	4314.59	2395.74
2032	1012	52.1	5.4	1969.8	26.3	60.40	22.255	43838	0.10	4450.38	2376.09
2033	1028	52.1	5.5	2001.4	26.3	60.40	22.255	44540	0.10	4589.51	2356.13
2034	1044	52.1	5.6	2032.3	26.3	60.40	22.255	45228	0.10	4730.28	2335.00
2035	1060	52.1	5.7	2062.9	26.3	60.40	22.255	45909	0.11	4873.48	2313.16
2036	1076	52.1	5.7	2093.1	26.3	60.40	22.255	46581	0.11	5019.07	2290.64
2037	1091	52.1	5.8	2122.9	26.3	60.40	22.255	47246	0.11	5167.00	2267.45
2038	1106	52.1	5.9	2152.4	26.3	60.40	22.255	47901	0.11	5317.22	2243.63
2039	1121	52.1	6.0	2181.4	26.3	60.40	22.255	48546	0.11	5469.67	2219.19
2040	1136	52.1	6.1	2209.9	26.3	60.40	22.255	49180	0.11	5624.27	2194.15
2041	1150	52.1	6.1	2237.9	26.3	60.40	22.255	49803	0.12	5780.95	2168.53
2042	1164	52.1	6.2	2265.3	26.3	60.40	22.255	50414	0.12	5939.64	2142.36
2043	1178	52.1	6.3	2292.2	26.3	60.40	22.255	51012	0.12	6100.23	2115.66
2044	1191	52.1	6.4	2318.4	26.3	60.40	22.255	51596	0.12	6262.62	2088.44
TOTAL										66 806.96 €	

Esta análise considerou que todo o volume afluente (Vmda) à estação elevatória será bombado, pelo que o tempo de bombagem médio anual foi obtido pela divisão do Vmda pelo Qb, multiplicado por 365 dias. Apesar de este cálculo não ser rigoroso, ignorando os picos de afluência à EE diários e rejeitando a possível diferença do Vmda com o Vd_{real}, representa uma estimativa do gasto anual de energia plausível e admissível ao cálculo.

5.3 FUNCIONAMENTO PRETENDIDO COM A REVISÃO DE PROJETO

5.3.1 DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS DE BOMBAGEM

A reabilitação das conduitas elevatórias refere-se a uma redução do diâmetro de ambas, que se faz acompanhar pela reavaliação das bombas e respectivo ajuste às novas características. Os efeitos deste acerto fazem-se notar diretamente nos cálculos matemáticos, designadamente nos cálculos da perda de carga e do caudal do sistema. A Figura 5.6 representa um gráfico carga-caudal, que tem como objectivo explicar os efeitos das alterações dos diâmetros e das bombas num sistema elevatório.

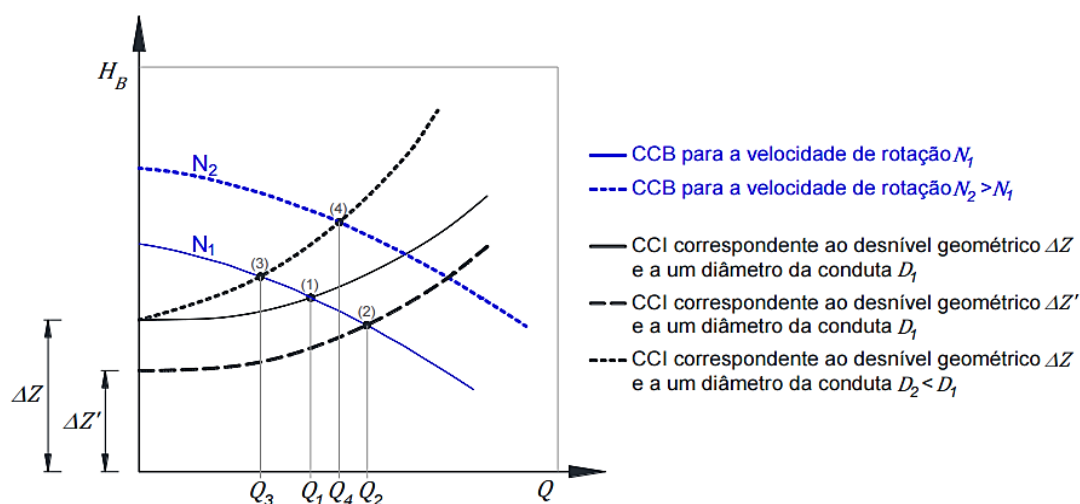


Figura 5.6 – Gráfico elucidativo dos efeitos que tem a alteração de diâmetro numa conduta elevatória e das características de uma bomba, sobre um sistema elevatório (onde 1 - instalação inicial; 2 - instalação final)

Pela análise do gráfico, e fazendo agora a relação com o projecto, é de esperar que a redução de diâmetro provoque uma rotação da CCI para cima (para a esquerda) e que o aumento da velocidade de rotação das bombas fará subir a CCB. O ponto óptimo passará então do equivalente ao (1) para um nível semelhante ao (4) – numeração do gráfico.

Nesse âmbito, foram realizados os gráficos Caudal bombado/Altura manométrica, onde se estabeleceram os pontos óptimos de funcionamento, que consistem na intersecção das Curvas Características das Bombas (CCB) com as Curvas Características das Instalações (CCI).

É de notar que ao contrário do primeiro estudo, neste caso apenas foi fornecida informação relativa ao ano horizonte, ignorando assim as duas fases de estudo anteriores (ao fim de 20 e 40 anos). Desta forma, serão apresentados apenas 2 gráficos relativos às bombas 2 e 10, em função do ano horizonte 2046.

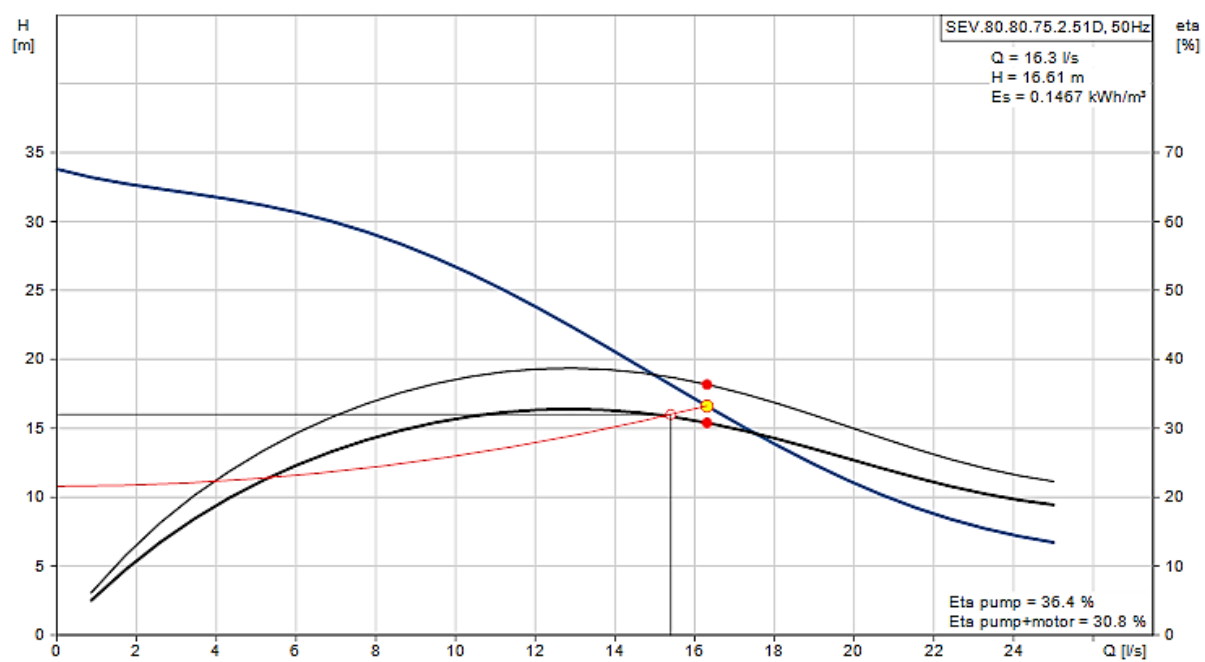


Figura 5.7 - CCI e CCB da bomba2, na revisão de projecto de 2016

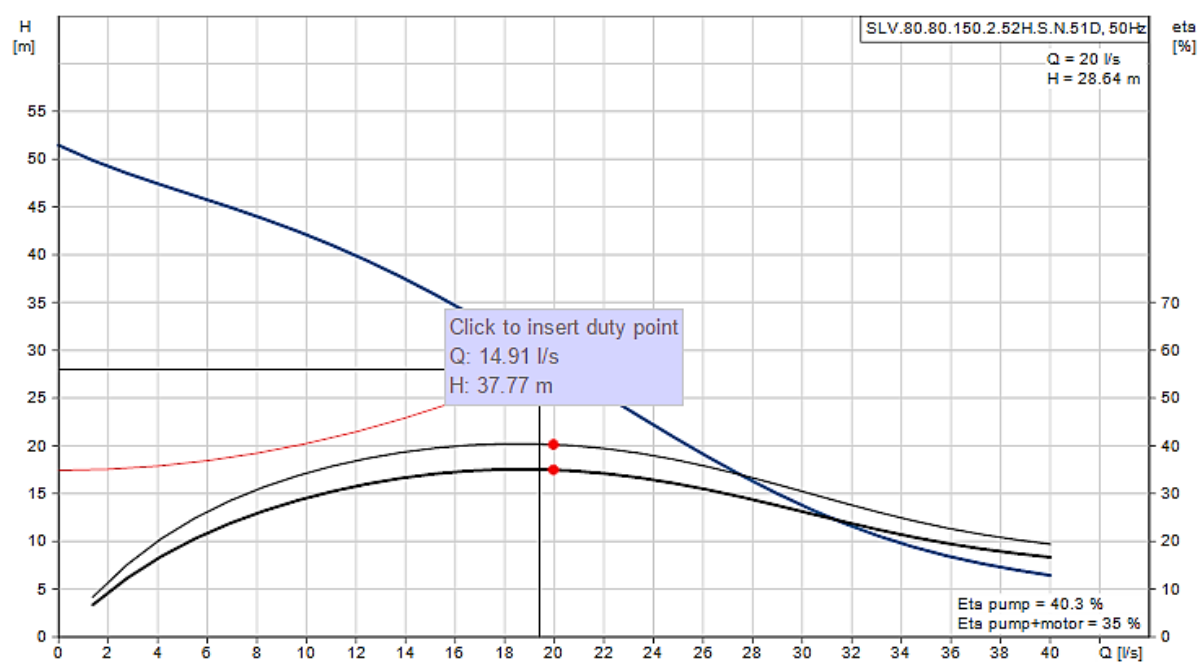


Figura 5.8 - CCI e CCB da bomba10, na revisão de projecto de 2016

5.3.2 ANÁLISE DE CUSTOS ENERGÉTICOS

O cálculo dos custos anuais tendo por base os dados da revisão do projeto decorreu da mesma forma que no projeto inicial. As características relevantes que foram consideradas são:

- A nova progressão geométrica da população e de capitação;
- Apenas 28 anos de vida útil (até 2044) para permitir a comparação de análises;
- As novas bombas, e respectivos rendimentos do sistema, caudal bombado e carga hidráulica;
- O custo unitário de energia de 0.08€ no ano inicial;
- A taxa de inflação de 1.5% e a taxa de amortização de 4%.

Quadro 5.3 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE2, com a revisão de projeto

Ano	Vmda (m ³)	Qb (l/s)	ΔT bomb dia (h)	ΔT bomb ano (h)	Hb (m)	η (%)	P (kW)	E anual (kWh)	Custo unit (€/kWh)	Custo anual (€/ano)	Custo amortiz. (€/ano)
2016	382	16.3	6.5	2376.4	16.6	30.8	8.618	20480	0.08	1638.43	1638.43
2017	385	16.3	6.6	2395.1	16.6	30.8	8.618	20641	0.08	1676.06	1611.60
2018	388	16.3	6.6	2414.7	16.6	30.8	8.618	20810	0.08	1715.12	1585.72
2019	391	16.3	6.7	2434.3	16.6	30.8	8.618	20979	0.08	1754.97	1560.16
2020	395	16.3	6.7	2453.9	16.6	30.8	8.618	21148	0.08	1795.63	1534.92
2021	398	16.3	6.8	2473.5	16.6	30.8	8.618	21317	0.09	1837.12	1509.98
2022	401	16.3	6.8	2493.0	16.6	30.8	8.618	21485	0.09	1879.45	1485.36
2023	404	16.3	6.9	2512.6	16.6	30.8	8.618	21654	0.09	1922.63	1461.04
2024	407	16.3	6.9	2533.2	16.6	30.8	8.618	21831	0.09	1967.42	1437.57
2025	410	16.3	7.0	2552.8	16.6	30.8	8.618	22000	0.09	2012.37	1413.87
2026	414	16.3	7.1	2573.3	16.6	30.8	8.618	22177	0.09	2058.98	1390.97
2027	417	16.3	7.1	2593.8	16.6	30.8	8.618	22354	0.09	2106.54	1368.37
2028	420	16.3	7.2	2615.3	16.6	30.8	8.618	22539	0.10	2155.83	1346.52
2029	424	16.3	7.2	2635.8	16.6	30.8	8.618	22716	0.10	2205.34	1324.47
2030	427	16.3	7.3	2657.3	16.6	30.8	8.618	22901	0.10	2256.64	1303.15
2031	431	16.3	7.3	2678.7	16.6	30.8	8.618	23086	0.10	2308.99	1282.10
2032	434	16.3	7.4	2700.2	16.6	30.8	8.618	23271	0.10	2362.40	1261.30
2033	438	16.3	7.5	2721.6	16.6	30.8	8.618	23455	0.10	2416.89	1240.77
2034	441	16.3	7.5	2743.1	16.6	30.8	8.618	23640	0.10	2472.49	1220.49
2035	445	16.3	7.6	2765.5	16.6	30.8	8.618	23833	0.11	2530.06	1200.87
2036	448	16.3	7.6	2787.0	16.6	30.8	8.618	24018	0.11	2587.94	1181.10
2037	452	16.3	7.7	2809.3	16.6	30.8	8.618	24211	0.11	2647.86	1161.97
2038	455	16.3	7.8	2831.7	16.6	30.8	8.618	24404	0.11	2709.00	1143.08
2039	459	16.3	7.8	2855.1	16.6	30.8	8.618	24605	0.11	2772.29	1124.79
2040	463	16.3	7.9	2877.5	16.6	30.8	8.618	24798	0.11	2835.94	1106.36
2041	466	16.3	7.9	2900.8	16.6	30.8	8.618	24999	0.12	2901.82	1088.52
2042	470	16.3	8.0	2924.1	16.6	30.8	8.618	25200	0.12	2969.03	1070.90
2043	474	16.3	8.1	2947.4	16.6	30.8	8.618	25401	0.12	3037.60	1053.49
2044	478	16.3	8.1	2970.8	16.6	30.8	8.618	25602	0.12	3107.57	1036.30
TOTAL										38 144.18 €	

Quadro 5.4 – Resultado do cálculo das energias e custos de bombagem na CE10, com a revisão de projeto

Ano	Vmda (m ³)	Qb (l/s)	ΔT bomb dia (h)	ΔT bomb ano (h)	Hb (m)	η (%)	P (kW)	E anual (kWh)	Custo unit (€/kWh)	Custo anual (€/ano)	Custo amortiz. (€/ano)
2016	507	20.0	7.0	2570.2	28.6	35.0	16.032	41206	0.08	3296.52	3296.52
2017	511	20.0	7.1	2590.7	28.6	35.0	16.032	41536	0.08	3372.69	3242.97
2018	515	20.0	7.2	2611.3	28.6	35.0	16.032	41865	0.08	3450.41	3190.10
2019	519	20.0	7.2	2632.6	28.6	35.0	16.032	42206	0.08	3530.72	3138.80
2020	523	20.0	7.3	2653.1	28.6	35.0	16.032	42535	0.08	3611.63	3087.24
2021	528	20.0	7.3	2674.4	28.6	35.0	16.032	42877	0.09	3695.23	3037.21
2022	532	20.0	7.4	2695.7	28.6	35.0	16.032	43218	0.09	3780.52	2987.80
2023	536	20.0	7.4	2717.7	28.6	35.0	16.032	43572	0.09	3868.61	2939.83
2024	540	20.0	7.5	2739.0	28.6	35.0	16.032	43913	0.09	3957.41	2891.64
2025	545	20.0	7.6	2761.1	28.6	35.0	16.032	44266	0.09	4049.11	2844.85
2026	549	20.0	7.6	2783.1	28.6	35.0	16.032	44620	0.09	4142.67	2798.64
2027	554	20.0	7.7	2805.9	28.6	35.0	16.032	44986	0.09	4239.27	2753.75
2028	558	20.0	7.7	2828.0	28.6	35.0	16.032	45339	0.10	4336.68	2708.68
2029	562	20.0	7.8	2850.8	28.6	35.0	16.032	45705	0.10	4437.24	2664.89
2030	567	20.0	7.9	2873.6	28.6	35.0	16.032	46071	0.10	4539.84	2621.64
2031	571	20.0	7.9	2896.4	28.6	35.0	16.032	46437	0.10	4644.51	2578.93
2032	576	20.0	8.0	2919.2	28.6	35.0	16.032	46802	0.10	4751.31	2536.76
2033	581	20.0	8.1	2942.8	28.6	35.0	16.032	47180	0.10	4861.52	2495.78
2034	585	20.0	8.1	2966.4	28.6	35.0	16.032	47558	0.10	4973.97	2455.29
2035	590	20.0	8.2	2990.0	28.6	35.0	16.032	47936	0.11	5088.70	2415.31
2036	595	20.0	8.3	3014.3	28.6	35.0	16.032	48326	0.11	5207.07	2376.44
2037	599	20.0	8.3	3038.6	28.6	35.0	16.032	48716	0.11	5327.84	2338.03
2038	604	20.0	8.4	3062.2	28.6	35.0	16.032	49094	0.11	5449.71	2299.53
2039	609	20.0	8.5	3087.3	28.6	35.0	16.032	49497	0.11	5576.78	2262.65
2040	614	20.0	8.5	3111.6	28.6	35.0	16.032	49887	0.11	5705.05	2225.66
2041	619	20.0	8.6	3136.7	28.6	35.0	16.032	50289	0.12	5837.32	2189.68
2042	624	20.0	8.7	3161.8	28.6	35.0	16.032	50691	0.12	5972.28	2154.14
2043	629	20.0	8.7	3186.9	28.6	35.0	16.032	51094	0.12	6109.97	2119.04
2044	634	20.0	8.8	3212.8	28.6	35.0	16.032	51508	0.12	6251.94	2084.88
TOTAL										76 736.67 €	

5.4 AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INTERVENÇÃO

Obtidos os custos de funcionamento do sistema em conformidade com ambos os projectos inicial e de revisão, este subcapítulo compreende a comparação das duas soluções de forma a analisar a sua necessidade e viabilidade económica. Para isso, será subdivida em 3 tópicos/subtítulos:

- Solução sem reabilitação, mantendo as conduitas elevatórias instaladas em 2004 e implementando os restantes elementos como previsto inicialmente, da qual fazem parte os custos energéticos anuais associados ao projecto inicial;

- Solução reabilitada, onde se contabilizarão os custos energéticos anuais associados às novas características propostas pela revisão de projecto, acrescidos dos custos da reabilitação, a pagar à empresa adjudicatária (neste caso, os custos da proposta da EcoReferência, S.A.);
- Comparação das duas soluções, que pretende estabelecer a relação económica e estrutural das duas opções e onde se pretende explorar de que modo é que a reabilitação das duas condutas elevatórias afectará a drenagem no Sistema de Santiago.

5.4.1 SOLUÇÃO SEM REABILITAÇÃO

Teoricamente, a natureza da instalação elevatória (o conjunto bomba + conduta elevatória) só induzirá um comportamento específico no valor dos tempos de bombagem e de caudais bombados. Por sua vez, estes têm influência direta no sistema gravítico a jusante, dado se assumirem como os caudais solicitantes na rede gravítica a jusante. Isto é, estabelecido o sistema elevatório (conduta + bomba) do qual é bombado um certo caudal, o diâmetro da conduta influencia apenas o escoamento a jusante. Não se considera assim, que a manutenção dos sistemas elevatórios na sua actual configuração conduzissem a um funcionamento problemático do sistema de drenagem.

Relativamente aos custos desta solução, foram calculados anteriormente e encontram-se apresentados nos Quadros 5.1 e 5.2.

5.4.2 SOLUÇÃO REABILITADA

A solução reabilitada consiste na redução do diâmetro das condutas instaladas, obtendo-se os diâmetros PEAD PE100 PN10 DN160 e PEAD PE100 PN10 DN180. A implementação desta solução acarreta custos energéticos ao longo do período de vida útil, como os calculados nos Quadros 5.3 e 5.4, respectivamente da CE2 e CE10.

Além dos custos de energia anuais, a solução reabilitada requer também um investimento inicial de pagamento dos serviços à empreitada responsável pela obra. Esses custos foram criteriosamente indicados pela EcoReferência, S.A., num dos documentos anexos à sua proposta, designadamente o “Mapa resumo da quantidade de trabalhos” exposto em Anexo.

5.4.3 COMPARAÇÃO DAS DUAS SOLUÇÕES

A avaliação dos custos energéticos foi feita para períodos de tempo iguais e coincidentes, desde 2016 a 2044 (28 anos), viabilizando a direta comparação das duas soluções. O Quadro 5.5 coloca lado a lado os valores de volumes, caudais, tempo de bombagem, potências, energias e custos, de modo a facilitar a análise comparativa entre as duas soluções.

Quadro 5.5 – Comparação económica das soluções Com e Sem reabilitação

Solução	Artigo	Ano	Vmda (m3/dia)	Qb (l/s)	T bomb ano (h)	P (kW)	E anual (kWh)	Custo amortizado (€)
Sem Reabilitação	CE2	2016	484	36.4	1347.5	9.651	13004	1 040.34
		2044	834	36.6	2310.7	9.825	22703	918.93
		TOTAL gastos de energia (28 anos)						29 202.64
	CE10	2016	743	42.8	1759.2	16.405	28861	2 308.86
		2044	1191	52.1	2318.4	22.255	51596	2 088.44
		TOTAL gastos de energia (28 anos)						66 806.96
	TOTAL gastos de energia sem reabilitação							96 009.60 €
Com Reabilitação	CE2	2016	382	16.3	2376.4	8.618	20480	1 638.43
		2044	478	16.3	2970.8	8.618	25602	1 036.30
		TOTAL gastos de energia (28 anos)						38 144.18
	CE10	2016	507	20.0	2570.2	16.032	41206	3 296.52
		2044	634	20.0	3212.8	16.032	51508	2 084.88
		TOTAL gastos de energia (28 anos)						76 736.67
	TOTAL gastos de energia com reabilitação							114 880.85 €
Empreitada		CUSTO (Investimento inicial)						88 000.00
TOTAL gastos com reabilitação							202 880.85 €	
DIFERENCIAL (com reabilitação - sem reabilitação)								106 871.25 €

A leitura das tabelas anteriores permite concluir que em comparação com a solução sem reabilitação, a revisão de projecto onde é proposta a reabilitação das condutas elevatórias acarreta:

- Redução da potência: Esta redução resulta em grande parte da diminuição drástica do caudal bombado, sentida de um projecto inicial para a sua revisão 12 anos mais tarde. A influência da altura elevada (que também reduz) é pouca, embora contribua também para a redução da potência, e a influência do rendimento do grupo ao diminuir é contraproducente, mas pouco notória no valor final da potência.
- Maior consumo de energia: O sistema hidráulico recalculado, apresentou uma redução em mais de metade do caudal bombado. Esta discrepância introduz uma necessidade acrescida de bombar durante períodos de tempo maiores, no sentido de dar vazão aos volumes afluentes. Assim, o tempo de bombagem aumenta para quase o dobro em ambos os casos, o que influencia diretamente o aumento da energia consumida pelas bombas na solução reabilitada.
- Maiores custos energéticos: Proveniente do aumento da energia consumida, resulta então um aumento drástico dos custos anuais, que ao fim de 28 anos se traduzem num diferencial na ordem dos 19 000€.

- Desvantagem económica: O diferencial calculado entre os dois tipos de soluções demonstra que há uma desvantagem na ordem dos 106 871.25€ em reabilitar as condutas elevatórias, considerando os gastos anuais ao longo de 28 anos e o investimento inicial da empreitada.

5.5 REABILITAÇÃO “RELINING” VS REABILITAÇÃO TRADICIONAL

A solução com reabilitação das condutas elevatórias requerida pelo concurso deverá ocorrer pelo método de *Relining*. Contudo, como visto antes, a reabilitação subdivide-se em duas opções: reabilitação sem abertura de vala e reabilitação tradicional, e o presente trabalho pretende avaliar o desempenho técnico e económico da reabilitação sem abertura de vala em detrimento da reabilitação tradicional. Assim, será realizada por fim, uma nova avaliação económica ao caso prático, considerando eventuais custos à reabilitação com abertura de vala e comparando-os ao *Relining*.

5.5.1 REABILITAÇÃO SEM ABERTURA DE VALA

A reabilitação sem abertura de vala foi estudada no subcapítulo 5.3. Determinaram-se custos de energia anuais ao longo de 28 anos dos funcionamentos de ambas as condutas elevatórias, cujo somatório foi somado à quantia pedida pelo adjudicatário para proceder às operações.

No entanto, para comparar as metodologias de intervenção, não serão contabilizados os custos anuais de energia. Apenas se dará importância ao custo da intervenção, cuja técnica de *Relining* contabilizou um total de 88 000.00 €.

5.5.2 REABILITAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL

A reabilitação das condutas elevatórias CE2 e CE10 pelo método tradicional implicaria a abertura de vala ao longo dos seus eixos, coincidentes com vias rodoviárias. O transtorno causado aos usuários destas vias, teria a agravante de num dos troços se tratar de uma estrada nacional. A passagem interdita ou dificultada, neste caso, traria desconforto ao trânsito não só aos habitantes locais como também a qualquer automobilista que use a EN108 na sua travessia.

Um possível procedimento de reabilitação das condutas pelo método tradicional, e que será adotado na análise de custos, teria os seguintes passos:

a) Levantamento de pavimentos

A primeira intervenção acontece directamente no pavimento da via pública. Este material deverá ser levantado e possivelmente guardado para uso na reposição final, se se tratarem de paralelepípedos ou cubos de granito ou outros terrenos reacomodáveis.

b) Escavação de terras / abertura de vala

A escavação da vala onde decorrem os trabalhos de reabilitação deve considerar não só o volume alusivo à conduta antiga, mas também o espaço respeitante às manobras de trabalho e à implementação de uma camada de assentamento no fundo da nova tubagem, bem como todos os trabalhos complementares, por exemplo o rebaixamento do nível freático ou a abertura de terreno para caixas de visita. A escavação pode ser realizada por meios mecânicos ou manuais, respeitando sempre

os desenhos de pormenor e os perfis longitudinais. Associada à escavação estão as terras extraídas, as quais podem contabilizar também custos devido ao seu transporte e depósito em vazadouro.

c) Tubagem

A aquisição da nova tubagem tem um custo significativo. Serão feitos os cálculos relativos à tubagem PEAD PE100 em ambas as condutas, de acordo com a proposta original, facilitando também a prática dos custos associados a este material disponibilizados pela empresa.

d) Aterro / reposição de terreno

No fim da da reabilitação da condua, são refeitos os terrenos. Os aterros necessários, cujo material e quantidade variam em conformidade com o objectivo do mesmo, serão distribuídos e contabilizados nesta análise económica por três tipos: o aterro correspondente à camada de fundo (“almofada” da condua), o aterro circundante à nova condua colocado manualmente, e o aterro superior, colocado acima da condua por camadas até à tangente com o pavimento da via. Este aterro final pode ser realizado com a reposição das terras extraídas inicialmente.

e) Reposição de pavimentos

Os trabalhos ficam concluídos com a reposição do pavimento na via pública. Este poderá ocorrer com material recolhido e guardado inicialmente, com a aplicação de betão betuminoso em vias municipais ou com o respectivo material em estradas sob jurisdição do IEP (Instituto das Estradas de Portugal), de acordo com os desenhos de pormenor.

Os custos inerentes a todas as fases descritas anteriormente foram baseados em custos unitários cedidos pela EcoReferência. S.A., que não serão detalhadamente descritos nesta tese para uma maior descrição da entidade, mas serão apresentados em forma de custos globais (previamente calculados). [42] O Quadro 5.6 caracteriza os volumes de materiais e de trabalhos necessários à eventual reabilitação tradicional nas CE2 e CE10. Os parâmetros calculados foram:

- DN – Diâmetro da tubagem nova [mm]
- C – Comprimento da vala a intervir (considerou-se uma maior extensão do que o comprimento real das condutas para obter um valor sobrestimado, que por sua vez irá sobrestimar os custos de grande parte da análise afetada por esta parcela. Desta forma, obteve-se uma aproximação à realidade de preços do mercado) [m]
- P – Profundidade média da implantação da tubagem (profundidade da escavação) [m]
- L – Largura da vala aberta [m]
- V1 – Volume ocupado pela tubagem = $C \times \frac{\pi \times DN^2}{4}$ [m³]
- V2 – Volume de escavação = $C \times L \times P$
- V3 – Volume da almofada de assentamento da tubagem = $0.1 \times C \times L$ [m³]
- V4 – Volume do aterro circundante à tubagem = $C \times \left[(L \times (DN + 0.3)) - \frac{\pi \times DN^2}{4} \right]$ [m³]

- $V5$ – Volume de aterro superior = $V2 - V3 - V4$ [m^3]
- $V6$ – Volumes extraordinários considerados, como o volume de compactação das terras e o volume de escavação da caixa de visita inicial da conduta elevatória, resultantes de uma consideração feita pela EcoReferência, S.A. [m^3]
- $A7$ – Área de pavimentação = $C \times (L + 0.4)$ [m^2]

Quadro 5.6 – Estimativa de volumes respeitantes à eventual reabilitação das CE2 e CE10 com abertura de vala

	Parâmetros usados				Medições de Volumes (m^3) e da Área de intervenção (m^2)						
	DN	C	P	L	V1	V2	V3	V4	V5	V6	A7
CE2	160	432	1.20	0.66	8.69	344.13	28.51	122.47	183.16	11.97	457.92
CE10	180	900	1.20	0.68	22.90	736.38	61.20	270.86	377.99	28.32	972.00
TOTAIS					31.59	1080.51	89.71	393.33	561.14	36.33	1429.92

Estabelecidos os volumes de material e trabalho, os custos globais de cada fase encontram-se então no Quadro 5.7, resultado da simples multiplicação dos custos unitários pelas quantidades calculadas.

Quadro 5.7 – Custos globais da reabilitação tradicional, de acordo com os custos unitários cedidos pela EcoReferência, S.A. e as quantidades de trabalho obtidas

Designação	Quantidade	Custo
Levantamento de pavimentos		5 904.96 €
Em paralelepípedos ou cubos de granito	582 m^2	
Em betão betuminoso	3 000 m^2	
Escavação de terras / abertura de vala		8 378.61 €
Escavação da vala e dos complementos (caixa de visita, etc)	1 080 m^2	
Transporte e depósito em vazadouro	72 m^3	
Tubagem		17 635.68 €
Aterro / reposição de terreno		6 087.50 €
Camada de assentamento da nova tubagem	90 m^3	
Aterro circundante à nova tubagem	395 m^3	
Aterro superior	561 m^3	
Reposição de pavimentos		72 643.20 €
Em paralelepípedos ou cubos de granito	582 m^2	
Em betão betuminoso	3 000 m^2	
TOTAL		110 500.00 €

5.5.3 COMPARAÇÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O término do presente estudo surge com a comparação económica e técnica entre a reabilitação de condutas com abertura de vala e sem abertura de vala. O caso de estudo possibilitou quantificar a diferença económica entre as duas intervenções, que se revelou significativa. A reabilitação por *Relining* acarreta um custo de 88 000.00 €, enquanto a reabilitação pelo método tradicional aportaria 110 500.00 €. A diferença de 22 500.00 € totaliza um aumento de cerca de 25.6% do primeiro para o segundo método.

Além do custo acrescido num quarto do custo, a técnica tradicional tem também a desvantagem tempo. No presente caso de estudo, averiguou-se que o *Relining* demora cerca de 3 semanas e a reabilitação com abertura de vala cerca de 4 a 5 meses.

Relativamente ao resultado técnico, todos os passos da reabilitação tradicional descritos, indicam que o trabalho pode ficar bem executado se feito com rigor. A colocação final do aterro deve ser cuidadosa e compactada dentro dos parâmetros admissíveis, de modo a não permitir deslocamentos à conduta nem ocorrer esmagamento da mesma. A ultimação do pavimento pode até resultar num pavimento melhor do que o inicial, uma vez que a sua reconstrução permite desfazer qualquer defeito ou desgaste existentes. Uma desvantagem evidente é o transtorno do trânsito, que como referido anteriormente, afeta a população residente e qualquer automobilista usuário da EN108. O ruído e as poeiras causam poluição sonora e ambiente mais evidenciada e mais prolongada, em relação às técnicas sem abertura de vala.

É de referir que as técnicas mais recentes implicam também a abertura de terreno, mas apenas na construção de poços de ataque, caixas de visita ou para abertura de um fosso, com profundidade e diâmetro suficientes, que permita instalar o equipamento necessário aos trabalhos dentro da conduta, consoante a técnica escolhida.

Concluindo, o estudo de caso permitiu ultimar duas grandes conclusões:

- O Sistema de Santiago deve ser executado, no entanto a diferença de custos entre a reabilitação ou manutenção das condutas elevatórias CE2 e CE10 é suficientemente grande para questionar a viabilidade da reabilitação. A proposta decorrente desta dissertação ao concurso lançado pela AdG recai em avaliar de que modo seria uma melhoria recalcular as necessidades do sistema de drenagem de Melres, mantendo ambas as condutas como foram instaladas no passado.
- A nível económico, é extremamente vantajoso optar pela reabilitação sem abertura de vala, uma vez que esta traduz uma redução de cerca de um quarto do preço global aos métodos tradicionais.

6

CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES GERAIS

Neste capítulo são enumerados os principais resultados da pesquisa efectuada e apresentadas as conclusões retiradas da elaboração do presente trabalho. O objectivo principal foi a análise económica de uma reabilitação sem abertura de vala, aplicada a um caso de estudo.

A quantidade de informação inicial revelou-se crucial ao desenvolvimento do trabalho. Foi notória a grande quantidade de materiais existentes para as tubagens e as diferentes características associadas a eles, significativos na execução de uma obra não só pelas exigências locais, quer de terreno, de tensões, de qualidade de água, etc, mas também pela rugosidade e pela flexibilidade esperada no decorrer de certas técnicas.

Foi estruturada uma sebenta de técnicas de reabilitação sem abertura de vala com uma melhor estruturação e organização da informação recolhida, de onde se depreendeu que existem diversas técnicas ainda por explorar e com lacunas de nomenclatura e diferenças na metodologia .A compreensão de todos estes processos, permitiu concluir que estes métodos requerem um grande trabalho inicial, tanto de selecção do método como de trabalhos preparatórios ao projecto.

O caso de estudo, apesar de ainda não se encontrar em funcionamento, foi estudado de forma detalhada permitindo avaliar com alguma exactidão o eventual desempenho técnico e económico, e abrindo portas à aplicação prática do estudo pretendido. Uma vez que este sistema se encontra ainda em fase de revisão de projecto, os resultados obtidos na presente tese poderão ser úteis às entidades responsáveis na sua execução.

Foi estudado o programa de concurso, onde se depreendeu toda a complexidade envolvida num concurso desta envergadura. Pela análise dos documentos fornecidos, ficou claro o grande custo destes projectos, tanto da parte do dono de obra como da empreitada. Entendeu-se que a avaliação prévia das estruturas em questão antes da sua execução é um passo crucial, uma vez que, como verificado neste caso, existem grandes discrepâncias nos parâmetros analisados no espaço de 12 anos.

Dos cálculos realizados, concluiu-se que os custos energéticos são superiores aquando da aplicação da reabilitação das condutas elevatórias. Estes, somados ao custo de intervenção, tornam esta opção pouco viável.

A última análise comparou a reabilitação tradicional com as técnicas mais recentes. Daqui foi possível determinar que o custo da reabilitação tradicional é cerca de 25% superior ao custo da reabilitação sem abertura de vala. Além da vantagem económica, as técnicas menos evasivas permitem uma solução mais rápida, com menos poluição e menos transtorno ao tráfego.

Concluiu-se que há ainda um grande caminho a ser percorrido no âmbito da reabilitação nacional, e por isso há espaço para crescer e amadurecer este tema. A transferência do conhecimento de outros países para o caso nacional deve ser tomada com consciência e bom proveito.

Em suma, este trabalho pretendeu através da aplicação prática a um caso de estudo expor todo o processo de reabilitação de infraestruturas enterradas e a sua análise económica. Para além disso, este trabalho teve como objetivo sensibilizar e apresentar técnicas alternativas à reabilitação tradicional, que podem ser uma forma mais sustentável de manutenção das infra-estruturas existentes.

6.2 DIFICULDADES SENTIDAS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No decorrer do presente trabalho, a maior dificuldade sentida foi o curto prazo de desenvolvimento da tese, uma vez que a cedência dos dados por parte das entidades foi muito tardia. Esse atraso teve repercussões na análise inicialmente pensada, no entanto, foi superado com esforço e interesse em concluir o estudo.

Na pesquisa realizada sobre este assunto, identificaram-se muitos artigos estrangeiros no tema da reabilitação sem abertura de vala. A bibliografia nacional nota-se ainda muito recente, pois a grande parte da informação disponível surgiu nos últimos 10 anos, sensivelmente. Esta lacuna reduz, de certa forma, a credibilidade das publicações portuguesas em relação às estrangeiras, que contam já com vastos anos.

Outra dificuldade sentida foi a falta de experiência. Os objectivos propostos impuseram o desafio e a necessidade de compreensão de todo o sector dos sistemas de drenagem de águas, bem como do processo construtivo, económico e a sua reabilitação, quer pelos métodos tradicionais, quer pelos métodos sem abertura de vala.

6.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Foram descritas técnicas que ainda estão em fase embrionária no panorama nacional, podendo então os desenvolvimentos futuros ser imensos. Contudo, de seguida enumeram-se aqueles que nesta fase parecem ser os mais pertinentes:

- Estabelecimento de uma nomenclatura clara e que unifique as designações utilizadas;
- Desenvolvimento de estudos científicos que permitam definir quais as variáveis de cada método de reabilitação, e assim conceber e projetar matrizes ou árvores de apoio à decisão actualizadas às novas técnicas de reabilitação sem abertura de vala;
- Definição de uma metodologia para a valorização da menor ocupação do espaço urbano e consequente incómodo e custos;
- Avaliação dos impactos ambientais e sociais, que atestem o benefício que estas soluções podem trazer, que são por exemplo: redução de poeiras no ar; redução do nível de ruído; redução dos consumíveis em obra (combustível dos equipamentos);
- Desenvolvimento de plataformas informáticas que auxiliem todo o processo.

Para que todas as sugestões de trabalhos futuros acima enumeradas possam melhor auxiliar a introdução/adequação destas técnicas, deveram ser apoiados/complementados com situações reais, sendo a intervenção das entidades detentores e executantes deste tipo de infra-estrutura da maior importância para a recolha e validação de informação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Howell Pato, João. História das Políticas Públicas de Abastecimento e Saneamento de Águas em Portugal. ERSAR. Lisboa. 2011
- [2] http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_137_n_1175.pdf. 31Maio2016
- [3] Martins, Tiago. Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada. Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2014
- [4] <http://csgquiagua.webnode.pt/etar/tratamentos-de-aguas-residuais/tratamento-preliminar/>. 5Junho2016
- [5] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=15&sub3ref=93>. 13Maio2016
- [6] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452010768/4%20Capitulo4.pdf>. 13Maio2016
- [7] https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573653317/Saneamento%20Slides%20_Saneamento_1.pdf. 12Maio2016
- [8] Botica, André. *Redes de Drenagem de Águas Residuais Domésticas em Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012
- [9] <http://www.ceap.br/material/MAT15052014142755.pdf>. 5Abril2016
- [10] <http://pt.slideshare.net/claudiosantos334839/aula-2-componentes-sistema-predial-de-esgoto>. 5Junho2016
- [11] ERSAR. Perguntas frequentes. <http://www.ersar.pt>. 12Maio2016
- [12] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452010771/7%20Capitulo7.pdf>. 9Junho2016
- [13] Ribeiro de Sousa, Eduardo. Monteiro, António. *Órgãos gerais dos sistemas de drenagem*. Instituto Superior Técnico. 9 Junho 2016
- [14] EBAH. *Modelos e características de tubulações hidráulicas*. 5Junho2016
- [15] Campos, Ana Rita. *Soluções de Reabilitação de Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014
- [16] Carvalho, João. *Dimensionamento de condutas enterradas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2010
- [17] Apontamentos da Disciplina *Hidrologia e Recursos Hídricos*, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015
- [18] Apontamentos da Disciplina *Sistemas de Drenagem Urbana*, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015
- [19] Apontamentos da Disciplina *Hidráulica Geral 2*, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015
- [20] Apontamentos da Disciplina *Hidráulica Urbana e Ambiental*, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015

- [21] PORDATA. *População servida por sistemas públicos de abastecimento de águas. População Sistemas de drenagem de águas residuais e estações de tratamento de águas residuais*. 13Maio2016
- [22] EcoReferência, S.A., <http://www.ecoreferencia.com/>. 30Março2016
- [23] Santos, Erik. *Técnicas de Reabilitação de Condutas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2011
- [24] Pinto, Fernando. *Reabilitação de Condutas sem Abertura de Vala – Aplicação a um Casos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009
- [25] <http://insidepipe.pt/servicos/>. 5Abril2016
- [26] <http://www.agriservir.com/servicos.html>. 30Março2016
- [27] <http://www.conpipe.com/product-lines/5-Cement-lining+on+site+location>. 13Junho2016
- [28] <http://www.pamline.pt/catalogo/nossos-produtos/outras-ligacoes/respostas-tecnicas/solucoes-tecnicas-pam/revestimentos/revestimento-interno/revestimento-argamassa-cimento>. 13Junho2016
- [29] <http://www.nuflowtechnologies.com/products/epoxy-lining/>. 13Junho2016
- [30] <http://www.btinstruments.pt/obturadores.php>. 30Março2016
- [31] <http://www.manviacondutas.com/servicos/esgotos/>. 16Junho2016
- [32] <http://www.pamline.pt/catalogo/nossos-produtos/outras-ligacoes/respostas-tecnicas/implementacao/implementacao-revestimentos-especiais/implementacao-manga-pe>. 13Junho2016
- [33] <http://www.sondagensoeste.pt/servicos/perfuracoes-por-rebentamento-hydroburst/>. 2Junho2016
- [34] EcoReferência, S.A. Fichas dos procedimentos de reabilitação aplicados pela empresa.
- [35] <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/41proc3.pdf>. 30Março2016
- [36] http://www.aguasdegondomar.pt/?page=oc_melres. 20Abril2016
- [37] Águas de Gondomar. Documentos Diversos: Desenhos em Autocad; Mapas do local; Estudo Prévio; Projeto de Execução
- [38] <http://www.saneago.com.br/site/?id=esgoto2&tit=esgoto>. 12Junho2016
- [39] <http://www.relinesolutions.com.au/pipe-relining-process>. 16Junho2016
- [40] Águas de Gondomar. Documentos Diversos: Projeto de Execução 2016; Programa do concurso “Remodelação de condutas elevatórias de águas residuais pelo método de Relining”; Desenhos em Autocad. 2004
- [41] DGDR. Empreitadas de Obras Públicas. Manual de Procedimentos. Junho 2001
- [42] EcoReferência, S.A. Documentos Diversos: Carta Convite ao Concurso “Remodelação de condutas elevatórias de águas residuais pelo método de Relining”; Documentos; Proposta de execução; Mapa de Trabalhos; Anexos Obrigatórios à Proposta. Orçamentos realizados pela empresa.
- [43] http://www.aquasystemsengenharia.com/index.php/aquasystems/areas_int/sis_mnd/9.1. 7Junho2016

- [44] <http://www.maiaplas.pt/servicos/>. 16Junho2016
- [45] <https://www.youtube.com/watch?v=xDLlOshIaeY>. 17Junho2016
- [46] https://www.youtube.com/watch?v=IiVS_fNm6FI. 14Junho2016
- [47] GRUNDFOS. SEV.80.80.75.2.51D. 30Maio2016
- [48] GRUNDFOS. SLV.80.80.150.2.52H.S.N.51D. 30Maio2016
- [49] <http://www.sanit.com.br/project/revestimentos/>. 5Julho2016
- [50] <http://www.relinesolutions.com.au/cipp-pipe-relining>. 5Julho2016

OUTRA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- <http://www.epal.pt/EPAL/menu/museu-da-%C3%A1gua/apresenta%C3%A7%C3%A3o/hist%C3%B3ria>. 10Maio2016
- <http://www.aguadoporto.pt/areas-de-intervencao/drenagem-de-aguas-residuais-domesticas>
12Maio2016
- <https://www.youtube.com/watch?v=e5IxYqlpUIY>. 22Maio2016
- <https://www.youtube.com/watch?v=Swp81X4jSDk>. 22Maio2016

ANEXOS

Anexo 1 – Tabelas das características de tubagens para PVC-U e PEAD

PEAD - PE 100 (MRS 100 ; $\sigma_s = 8,0$ MPa)								(K = 0,04 mm ; E = 1 400 MPa)							
Diâmetro nominal (mm)	Classe de Pressão (bar)														
	PN 6		PN 8		PN 10		PN 12.5		PN 16		PN 20		PN 25		
	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	
63	58.00	1.53	57.00	1.79	55.40	2.24	53.60	2.72	51.40	3.28	48.80	3.98	45.80	4.81	
75	69.20	2.09	67.80	2.57	66.00	3.16	63.80	3.85	61.40	4.57	58.20	5.36	54.40	6.14	
90	83.00	3.03	81.40	3.68	79.20	4.54	76.60	5.52	73.60	6.63	69.80	7.91	65.40	9.31	
110	101.60	4.45	99.40	5.52	96.80	6.76	93.80	8.17	90.00	9.83	85.40	11.62	79.80	13.51	
125	115.40	5.73	113.00	7.06	110.20	8.62	106.60	10.53	102.20	12.75	97.00	15.32	90.80	18.24	
140	129.20	7.23	126.60	8.84	123.40	10.82	119.40	13.19	114.60	15.90	108.60	19.05	101.60	22.56	
160	147.60	9.49	144.60	11.60	141.00	14.12	136.40	17.21	130.80	20.87	124.20	25.17	116.20	30.18	
180	166.20	11.81	162.80	14.57	158.60	17.86	153.40	21.85	147.20	26.37	139.80	31.58	130.80	37.32	
200	184.60	14.65	180.80	18.06	176.20	22.04	170.60	26.80	163.60	32.53	155.20	39.10	145.20	46.58	
225	207.80	18.41	203.40	22.82	198.20	27.96	191.80	34.03	184.00	41.17	174.60	49.18	163.40	58.01	
250	230.80	22.81	226.20	27.92	220.40	34.26	213.20	41.92	204.60	50.63	194.20	60.85	181.60	72.37	
280	258.60	28.45	253.20	35.25	246.80	43.04	238.80	52.52	229.20	63.48	217.40	75.92	203.40	89.69	
315	290.80	36.24	285.00	44.30	277.60	54.51	268.60	66.56	257.80	80.35	244.60	96.43	228.80	114.43	
355	327.80	45.55	321.20	56.44	312.80	68.87	302.80	84.12	290.60	101.97	275.60	122.42	258.00	145.47	
400	369.40	58.09	361.80	71.72	352.60	87.68	341.20	107.03	327.40	129.50	310.60	155.29	290.60	184.19	

PVC-U (K = 0,04 mm ; E = 30 000 MPa)						
Diâmetro nominal (mm)	Classe de Pressão (bar)					
	PN 6		PN 10		PN 16	
	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)	Diâmetro Interior (mm)	Preço por metro (€)
63	59.20	1.79	57.00	2.24	53.60	3.96
75	70.60	2.46	67.80	3.08	63.80	5.59
90	84.60	3.22	81.40	4.34	76.60	8.02
110	103.50	4.02	99.04	6.40	93.60	11.98
125	117.60	5.22	113.00	8.19	106.40	15.38
140	131.80	6.50	126.60	10.31	119.20	19.25
160	150.60	8.44	144.60	13.41	136.20	25.09
200	188.20	13.17	180.80	20.87	170.20	39.31
250	235.40	20.38	226.20	32.37	212.80	61.10
315	296.60	32.37	285.00	51.27	268.20	96.72
400	376.60	56.53	361.80	90.28	340.60	155.98
500	470.80	87.18	452.40	139.39	---	---

Anexo 2 – Programa do concurso

a) Identificação do concurso

O concurso lançado pretende a adjudicação da execução da empreitada da remodelação, associado ao Sistema de drenagem de águas residuais de Santiago, em Melres. As estruturas em concurso estão mapeadas e bem identificadas nos Anexos 5.1 e 5.2, e são, designadamente:

- Remodelação da conduta elevatória de águas residuais situada na Rua Padre Jerónimo e ruas das Quintãs, numa extensão de sensivelmente 320 metros lineares;
- Remodelação da conduta elevatória de águas residuais situada na Avenida José Joaquim Ferreira e Rua de Midões, numa extensão de 820 metros lineares.
-

b) Tipo de empreitada

A empreitada solicitada pelo concurso é do tipo série de preços (Artigos 18º a 21º) – “A remuneração do empreiteiro é a que resulta da aplicação dos preços unitários previstos no contrato, para cada espécie de trabalho, às quantidades efetivamente executadas.”, em [Empreitadas de Obras Públicas, Procedimentos D. L. 59/99, de 2 de Março]. [41]

A proposta de preço deve ser acompanhada pela lista de preços unitários que lhe serviu de base. Exclusivamente, e em conformidade com esta lista, o empreiteiro poderá ser indemnizado no caso do valor adjudicado ser diferente.

O concorrente deve, ainda, indicar o prazo previsto para a execução dos trabalhos após consignação.

c) Inspeção do local dos trabalhos

Os empreiteiros que assim o entenderem, estão permitidos a inspecionar os locais de execução da obra. Uma vez no local, podem realizar os estudos que acharem convenientes e indispensáveis à elaboração das suas propostas, podendo a AdG entender que estes devem ser acompanhados por um dos seus profissionais. A entidade declara ainda que os custos de deslocação ou de eventuais danos estão à responsabilidade única dos intervenientes.

O programa do concurso fornece peças mapeadas e de dados que a qualquer momento podem, e devem, ser confirmados pelo empreiteiro.

A inspeção do local dos trabalhos deve incluir a análise pormenorizada dos aspetos condicionantes à execução da obra, nomeadamente os desvios provisórios do tráfego automóvel e pedonal, o espaço disponível para instalar o estaleiro, o acesso à obra e eventuais subcontratações pelo empreiteiro. Estes custos são assumidos como incluídos no preço contratual da empreitada.

d) Documentos da proposta

As entidades interessadas no projeto devem preparar os seguintes documentos, para entregar à entidade responsável:

- Lista dos preços unitários para cada trabalho previsto, com o ordenamento dos mapas resumo de quantidades de trabalho. A lista deve ser acompanhada pelo respetivo ficheiro em formato Excel;
- Declaração do concorrente de aceitação do conteúdo no Processo de Concurso, assinada;
- Documentos que o concorrente considere relevantes integrarem a proposta.

e) Prazo de entrega das propostas

Todas as propostas e os respetivos documentos devem ser entregues até ao dia 8 de Abril de 2016, pessoalmente ou por correio. A partir da data indicada, os concorrentes devem manter as respetivas propostas pelo prazo de 120 dias, a partir dos quais podem declarar algo em contrário.

As Águas de Gondomar detêm o direito de pedir qualquer esclarecimento às entidades interessadas, respeitante às propostas apresentadas.

f) Critérios de avaliação e Adjudicação

A decisão do adjudicante terá como critério o preço global mais baixo. Esta será transmitida em simultâneo a todos os concorrentes, com a notificação em exclusivo ao elegido que deve entregar no prazo de 10 dias os documentos de habilitação exigidos por lei e pelo presente Programa de Concurso.

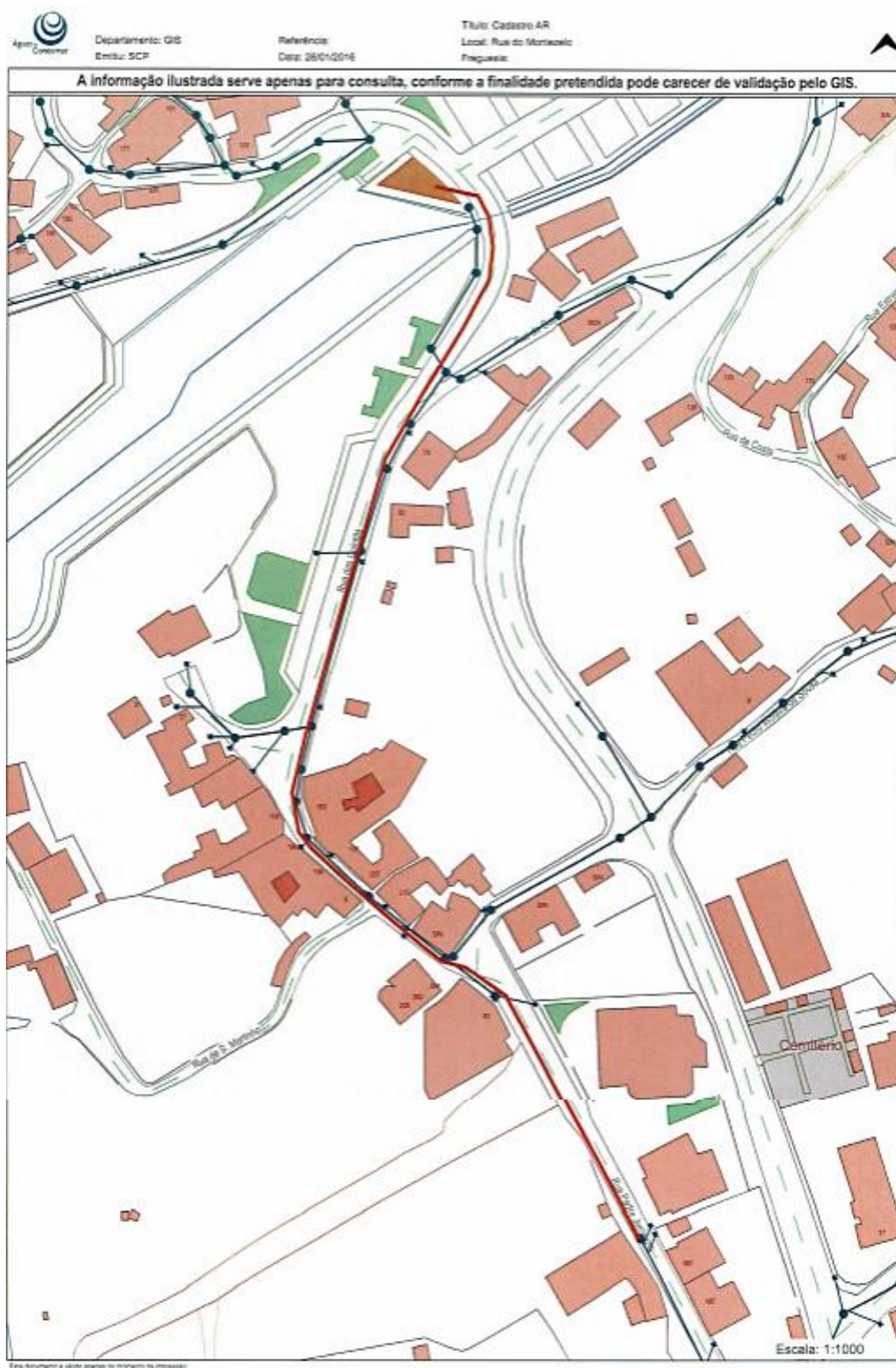
g) Outras considerações

O adjudicatário deve prestar uma caução no (mesmo) prazo de 10 dias, no valor de 5% do preço contratual, com exclusão do Imposto sobre o Valor Acrescentado. Esta caução serve de garantia ao exato e pontual cumprimento das obrigações do empreiteiro.

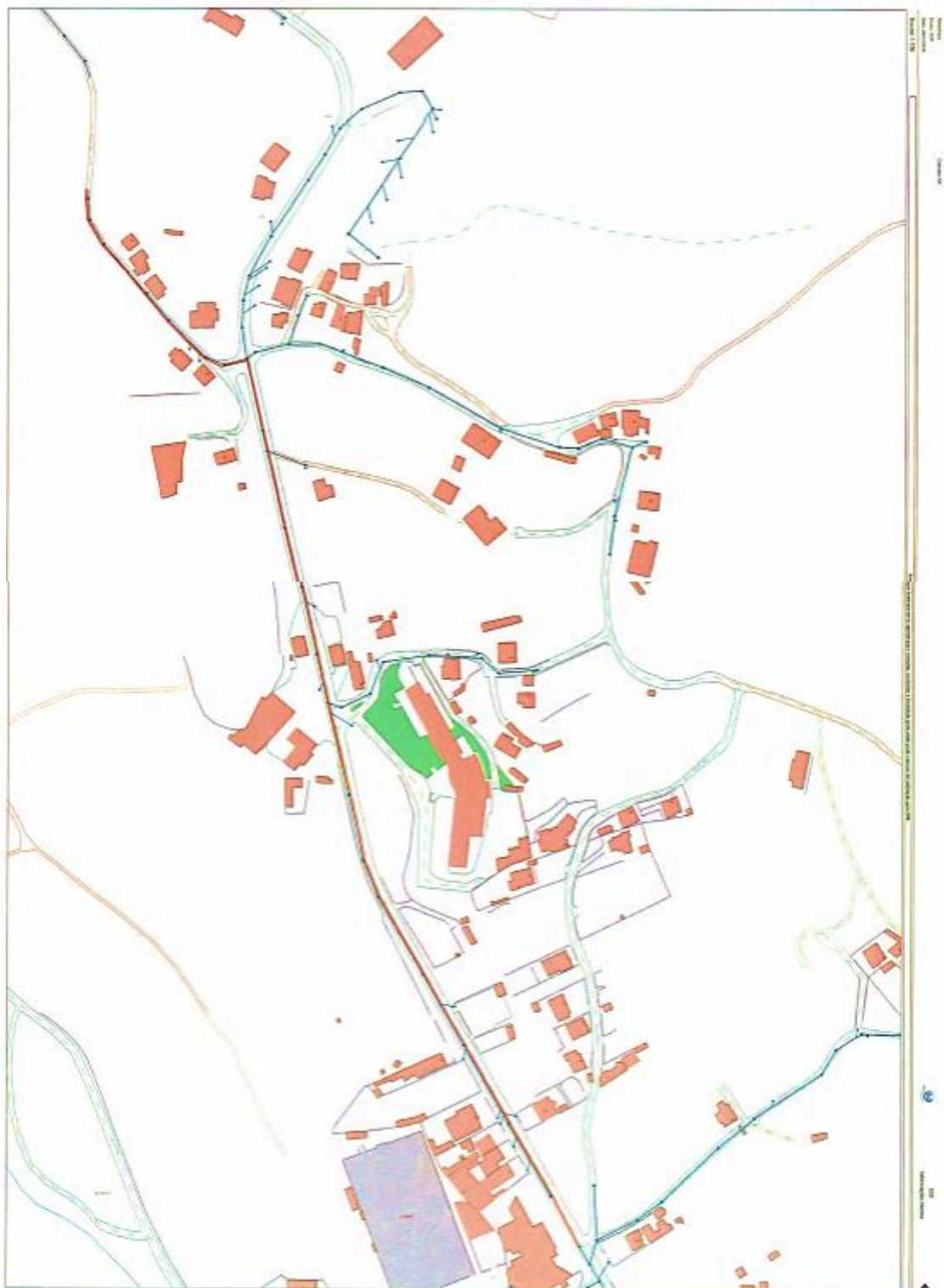
Os seguros e as despesas externas à proposta, são da responsabilidade do adjudicatário.

O Programa do Concurso segue o disposto no Contrato de Construção do Contrato de Concessão da Exploração e Gestão dos serviços Públicos Municipais de Abastecimento de Água e Saneamento do Município de Gondomar, pelo que qualquer assunto que não esteja notado no presente documento deve ser aplicado em conformidade com essa legislação.

Anexo 3 – Mapa da localização da CE2, disponibilizado para o concurso de reabilitação às entidades concorrentes



Anexo 4 – Mapa da localização da CE10, disponibilizado para o concurso de reabilitação às entidades concorrentes



Anexo 5 – “Mapa resumo da quantidade de trabalhos” proposto pela EcoReferência, S.A.

MEDIÇÕES DOS TRABALHOS					
Nº	Designação dos trabalhos e/ou materiais	Unid.	Qtd.	€/unid.	Total
Remodelação de condutas elevatórias de águas residuais pelo método de <i>Relining</i>					
1.	Elaboração dos processos de licenciamento e autorizações para intervenção na Estradas de Portugal, CMG e demais entidades.	vg	1	€ 3 594.15	€ 3 594.15
2.	Fornecimento de placas de identificação das frentes de obra	vg	1	€ 3 327.92	€ 3 327.92
					€ 6 922.07
CE10 - Remodelação de conduta elevatória de águas residuais, pelo método de <i>Relining</i>, situada na Avenida José Joaquim Ferreira e Rua de Midões, Melres – Gondomar					
3. <u>TRABALHOS PREPARATÓRIOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL</u>					
3.1	Corte, levantamento de pavimento incluindo transporte a vazadouro próprio	un	5	€ 110.93	€ 554.65
3.2	Escavação do fosso de ataque	un	5	€ 1 663.96	€ 8 319.80
3.3	Corte da conduta existente e fecho do troço não utilizado com poliuretano	un	5	€ 55.47	€ 277.35
3.4	Reposição do pavimento na zona da execução dos fossos de ataque	un	5	€ 221.86	€ 1 109.30
4.	Fornecimento e passagem de conduta PEAD DN180 (MRS100 PN10), em troços de 12m soldadas "topo a topo"	ml	900	€ 24.75	€ 22 275.00
5.	Selagem da conduta existente (MOPVC DN250) envolvente a nova conduta com Poliuretano	un	10	€ 55.47	€ 554.70
6.	Selagem da conduta e adaptação da caixa de descompressão existente	un	1	€ 831.98	€ 831.98
7.	Fresagem e preposição de camada de desgaste com 6 cm de espessura, incluindo reposição da sinalização horizontal	m2	750	€ 25.31	€ 18 982.50
8.	Fornecimento e aplicação de espaçador Universal Módulo MIDI altura 25 mm com fecho universal 3 Módulos = 180 mm	un	1350	€ 5.40	€ 7 290.00
9.	Fornecimento e aplicação de fole de Final de Entubamento Casing DN250 x PIPE 160/180 mm completo com abraçadeiras inox de aperto por parafuso para ambos os extremos	un	10	€ 113.17	€ 1 131.70

10.	Ensaio hidráulico à pressão de serviço x 1,5 da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações	vg	1	€ 332.79	€ 332.79
11.	Ensaio de pressão a ar comprimido da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações	vg	1	€ 332.79	€ 332.79
					€ 61 992.56
CE2 - Remodelação de conduta elevatória de águas residuais, pelo método de <i>Relining</i>, situada na Rua Padre Jerónimo e Ruas das Quintãs, Melres – Gondomar					
12.	<u>TRABALHOS PREPARATÓRIOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL</u>				
12.1	Corte, levantamento de pavimento incluindo transporte a vazadouro próprio	un	2	€ 83.20	€ 166.40
12.2	Escavação do fosso de ataque	un	2	€ 1 663.96	€ 3 327.92
12.3	Corte da conduta existente e fecho do troço não utilizado com poliuretano	un	2	€ 55.47	€ 110.94
12.4	Reposição do pavimento na zona da execução dos fossos de ataque	un	2	€ 186.36	€ 372.72
13.	Fornecimento e passagem de conduta PEAD DN160 (MRS100 PN10), em troços de 12m soldadas "topo a topo"	ml	432	€ 21.02	€ 9 080.64
14.	Selagem da conduta existente (MOPVC DN200) envolvente a nova conduta com Poliuretano	un	6	€ 55.47	€ 332.82
15.	Selagem da conduta e adaptação da caixa de descompressão existente	un	1	€ 831.98	€ 831.98
16.	Fornecimento e aplicação de espaçador Universal Módulo MIDI altura 25 mm com fecho universal 2 Módulos = 160 mm	un	648	€ 5.40	€ 3 499.20
17.	Fornecimento e aplicação de fole de Final de Entubamento Casing DN200 x PIPE 160/180 mm completo com abraçadeiras inox de aperto por parafuso para ambos os extremos	un	6	€ 113.17	€ 679.02
18.	Ensaio hidráulico à pressão de serviço x 1,5 da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações	vg	1	€ 332.79	€ 332.79
19.	Ensaio de pressão a ar comprimido da nova conduta, antes do estabelecimento das ligações	vg	1	€ 332.79	€ 332.79
					€ 19 067.22
TOTAL					€ 88 000.00